

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра автоматики та управління в технічних системах**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.І. Ролік

« ____ » _____ 2019 р.

**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра
з напрямку підготовки 6. 050201 «Системна інженерія»
на тему: «Система автоматичного позиціонування сонячних панелей»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ІА-51

Булан Ілля Леонідович _____

Керівник:

Старший викладач кафедри АУТС,

Шимкович В.М. _____

Рецензент:

Доцент кафедри ТК, кандидат технічних наук,

доцент, Тимошин Ю.А. _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2019 рік

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Система автоматичного позиціонування
сонячних панелей»**

Київ – 2019 рік

АНОТАЦІЯ

Булан І.Л. Система автоматичного позиціонування сонячних панелей. КПП ім. Ігоря Сікорського, 2019.

Проект містить 61 с. тексту, 34 рисунки, 4 таблиці, посилання на 31 літературне джерело, 4 конструкторських документи.

Ключові слова: система автоматичного позиціонування, сонячні панелі, сонячні трекери, сонячна енергія, активні системи керування трекером.

Об'єктом дослідження є система автоматичного позиціонування сонячних панелей для отримання більшої кількості сонячної енергії.

Мета розробки – розробка автоматичної системи, яка змінюватиме кут нахилу сонячних панелей при зміні положення Сонця.

У дипломному проекті описано принцип видобутку сонячної енергії за допомогою фотоелектричних панелей та розглянуто основні способи покращення видобутку сонячної енергії.

Також розроблено власну систему для покращення видобутку енергії Сонця, яка автоматично підлаштовує сонячні панелі, щоб кут між ними та сонячними променями був прямий. Наведені достовірні дані видобутку енергії з різними видами систем стеження за сонцем. Розглянуті основні переваги та недоліки таких систем.

SUMMARY

Bulan I.L. Automatic positioning system for solar panels. Igor Sikorsky KPI, 2019.

The project contains 61 pages of text, 33 figures, 4 tables, references to 31 literary sources, 4 design documents.

Keywords: automatic positioning system, solar panels, solar trackers, solar energy, active tracker controls.

The object of research is the system of automatic positioning of solar panels to receive more solar energy.

The goal of the research is developing of an automatic system that will change the angle of inclination of solar panels when changing the position of the sun.

The graduation project describes the principle of solar energy extraction using photovoltaic panels and examines the main ways to improve the production of solar energy.

Also developed is own system for improving the extraction of solar energy, which automatically adjusts the solar panels so that the angle between them and the sun is straight. The reliable data on energy extraction with various kinds of sun surveillance systems is given. The main advantages and disadvantages of such systems are considered.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
1 СОНЯЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИДОБУТКУ ЕНЕРГІЇ	7
1.1 Основні поняття та елементи для видобутку сонячної енергії	7
1.2 Актуальність розробки систем стеження за Сонцем.....	11
1.3 Класифікація сонячних трекерів	14
1.3.1 Одноосьові сонячні трекери	15
1.3.2 Двоосьовий сонячний трекер.....	18
1.4 Переваги використання динамічних систем стеження за сонцем	19
1.5 Будова сонячного трекера	21
1.6 Способи керування сонячним трекером	23
1.7 Огляд існуючих рішень	28
1.8 Постановка задачі проекту	33
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	35
2.1 Розробка алгоритму функціонування системи	35
2.2 Розробка структурної схеми пристрою.....	36
2.3 Розробка функціональної схеми системи	36
2.4 Вибір елементної бази	40
2.4.1 Мікроконтролер	40
2.4.2 Дисплей LCD	43
2.4.3 Схема перетворювача інтерфейсу	45
2.4.4 Датчик прискорення і нахилу	46
2.4.5 Модуль годинника реального часу	48

					ІА51.050БАК.005 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Булан І.Л.			Система автоматичного позиціонування сонячних панелей Пояснювальна записка		
Перевір.		Шимкович В.М.					
Т. контр.							
Затвер.							
						Літ.	Аркуш
							Аркушів
						2	61
						НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» ФІОТ, група ІА-51	

2.4.6 Магнітний компас	50
2.4.6 Виконавчий механізм повороту панелей.....	51
2.5 Розробка схеми електричної принципової	55
ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58

№	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ІА51.050БАК.005 ПЗ

Аркуш

3

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

AADAT – Azimuth Altitude Dual-Axis Trackers

DAT – Dual Axis Trackers

HSAT – Horizontal Single-Axis Trackers

I²C – Inter- Integrated Circuit

PSAT – Polar Single-Axis Trackers

SAT – Single-Axis Trackers

TTDAT – Tip-Tilt Dual Axis Trackers

TSAT – Tilted Single-Axis Trackers

VSAT – Vertical Single-Axis Trackers

WHSAT – Wall Horizontal single axis tracker

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

IEEE – інститут інженерів з електротехніки та електроніки

ККД – коефіцієнт корисної дії

МК – мікроконтролер

ОП – операційний підсилювач

СЕС – сонячна електростанція

ФЕМ – фотоелектричні модулі

ФЕС – фотоелектрична станція

ВСТУП

В теперішній час майже у всіх сферах людської життєдіяльності використовується енергія, причому з кожним роком потреби в ній збільшуються. Поміж тим традиційні запаси природних палив (нафти, вугілля, газу та ін.) є вичерпними. І у зв'язку з цією проблемою, використання нетрадиційних джерел енергії стає все більш необхідним. В першу чергу це сонячна, вітрова, геотермальна енергія, які наразі вважаються невичерпними.

Серед відновлюваних джерел енергії найбільш перспективною за масштабами ресурсів та екологічною чистотою є сонячна радіація.

Використання сонячної енергії для виробництва електроенергії в Україні набуває великої популярності: розвиток сонячної енергетики віднесено до пріоритетних національних проектів, а осінню 2010 року було введено в експлуатацію першу сонячну електростанцію України. Станом на початок 2018 року потужність побудованих сонячних електростанцій в Україні складає вже більше 752 МВт [1].

Метод прямого перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію є, по-перше, найбільш зручним для споживача, по-друге, цей метод вважається екологічно чистим способом одержання електроенергії на відміну від використання палива, ядерної сировини чи гідроресурсу.

Але в отриманні сонячної енергії є як «плюси» так і «мінуси». Погодні фактори відіграють велику роль. Багато хто скаржиться на досить високу вартість сонячних елементів, відносно невисоку ефективність у плані окупованості. Проте з кожним роком попит на сонячні електростанції в Україні тільки росте і відповідно ціни на сонячні елементи різко знижуються. «Підводним каменем» функціонування сучасних «сонячних ферм» стає проблема технічної підтримки та обслуговування.

№	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

IA51.050БАК.005 ПЗ

Аркуш

5

Досвід використання сонячних панелей показав, що інтенсивний нагрів фотоелементів відчутно знижує ефективність системи в цілому, тому потрібно передбачати вирішення охолодження модулів. Також сонячні батареї необхідно періодично чистити від пилу і бруду, а в разі роботи з установкою площею кілька квадратних кілометрів з очищенням можуть виникнути значні труднощі. Проте основна проблема сонячної енергії полягає в тому, що вона безпосередньо залежить від інтенсивності світла. Для отримання максимальної кількості енергії сонячна панель повинна бути перпендикулярною до джерела світла. Оскільки сонце рухається як протягом дня, так і протягом усього року, сонячна панель повинна бути мати можливість стежити за рухом сонця, щоб отримати максимально можливу потужність. Рішення полягає у використанні системи стеження, яка підтримує ортогональне положення панелі з джерелом світла. Існує багато конструкцій системи стеження, включаючи пасивні та активні системи з однією або двома осями свободи.

Таким чином може скластися враження, що в сонячій технології видобутку енергії є цілий ряд недоліків, проте технологічний прогрес не стоїть на місці і тому вирішення цих недоліків лише питання часу

Отже, метою дипломного проекту, є вирішення однієї з проблем технології видобутку енергії, а саме збільшення кількості отриманої енергії за рахунок розробки системи автоматичного позиціонування елементів сонячної батареї в найбільш ефективне положення.

1 СОНЯЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИДОБУТКУ ЕНЕРГІЇ

За прогнозом Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE) сонячна енергетика зможе скласти конкуренцію сучасній традиційній енергетиці на базі викопного палива. Потенційні можливості енергетики, заснованої на використанні безпосередньо сонячного випромінювання, досить великі. Використання лише 0,0125 % енергії Сонця могло б забезпечити всі сьогоденні потреби світової енергетики, а використання 0,5 % – покрити всі потреби на майбутню перспективу. Проте на сьогоднішній день організація вбачає лише дві основні проблеми, що стримують сонячну енергетику від повноцінної конкуренції з викопним паливом. Однією з проблем є досить висока ціна сонячних елементів, інша - їх відносно невисокий ККД [2].

Середнє значення ККД в сонячних батареях на монокристалічному кремнії сьогодні становить близько 15 %. Проте ці цифри актуальні лише влітку, ополудні і при падінні сонячного випромінювання перпендикулярно на світлопоглинаючу панель. В реальних умовах, коли Сонце рухається від сходу до заходу змінюється кут падіння випромінювання та його інтенсивність. Тому для зменшення впливу цих факторів використовується система автоматичного позиціонування сонячних панелей, що значно підвищує енергетичну вигоду сонячного випромінювання.

1.1 Основні поняття та елементи для видобутку сонячної енергії

На сьогоднішній день криза в галузі енергетики є однією з ключових проблем світу. Звичні для нас енергетичні ресурси є вичерпними та несуть шкоду для нашого середовища. Тому ці фактори основним чином вплинули на популяризацію використання відновлюваних джерел енергії.

№	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

IA51.050БАК.005 ПЗ

Аркуш

7

Розвиток сучасних технологій та зріст населення світу збільшили потребу у використанні електричної енергії.

Сонячна енергетика – досить перспективна галузь альтернативних джерел видобутку енергії, яка з останніми роками прогресивно розвивається. Її можна назвати невичерпним джерелом, яке має два основні плюси – відновлювальний ресурс та повністю екологічно чиста електроенергія яка не завдає шкоди для довкілля.

Сонце є невичерпно потужним джерелом електричної енергії, і цю енергію можливо отримувати, використовуючі сонячні фотоелектричні елементи і фотоелектричний ефект для перетворення світлової енергії в електричну. Проте перетворення звичайної фотоелектричної комірки має низьку ефективність. Основна причина цієї проблеми це те, що потужність фотоелементів залежить безпосередньо від інтенсивності світла, яке поглинається панеллю, а так, як Сонце постійно змінює своє положення, то ефективність поглинання статичними сонячними панелями буде значно менша від максимальної, що буде отримана при попаданні промені впад прямим кутом на поверхню.

Фундаментальне розуміння того, як працює фотоелектрична панель, має важливе значення для створення високоефективної сонячної системи. Панелі сонячних батарей формуються з сонячних елементів, які з'єднані паралельно або послідовно. При послідовному підключенні відбувається збільшення загальної напруги, що підключається паралельно до збільшення загального струму. Кожен окремий сонячний елемент, як правило, виготовляється з кристалічного кремнію, хоча є й інші типи, такі як стрічка і тонкоплівковий силікон.

Сонячні батареї поглинають сонячну радіацію від сонця та ефективно перетворюють її на електроенергію (рис. 1.1). Сонячні батареї зазвичай складаються із декількох сонячних елементів. Ці елементи працюють як звичайні великі акумуляторні батареї.

Сонячні панелі – мабуть найважливіший компонент, що використовується при побудові фотоелектричних систем для різного призначення. Найголовніші переваги у використанні сонячних батарей випливають із їх простої конструкції: вони мають стабільні електричні характеристики та володіють високою завадостійкістю. Також вагомою перевагою сонячних панелей є відсутність рухомих частин, що зменшують ризики погіршення технічного стану та полегшують їх експлуатацію.



Рисунок 1.1 – Типова сонячна батарея Altek ALM-160P

Панелі сонячних батарей, що складаються з фотоелектричних комірок, захоплюють частинки сонячного світла або фотони. Фотоелектричні комірки складаються з шаруватого кремнію, легованого різними елементами для утворення р-п-переходу. Сторона р-типу буде містити додаткові отвори або позитивні заряди. Сторона n-типу буде містити додаткові електрони або негативні заряди. Ця різниця зарядів формує область, в якій заряд нейтральний і діє як бар'єр. Коли р-п-перехід

№	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

IA51.050БАК.005 ПЗ

Аркуш

9

освітлюється, фотони з правильною частотою утворюють додаткову пару електронів. Однак, оскільки р-n-перехід створює різницю потенціалів, електрони не можуть перейти на іншу сторону, це можуть лише дірки. Таким чином, електрони повинні вийти через металевий з'єднувач і протікати через навантаження, до роз'єму на іншій стороні переходу.

Оскільки фотоелектричні комірки генерують струм, комірки панелі можна моделювати як джерела постійного струму. Кількість струму, що виробляється фотоелектричною панеллю, має пряму кореляцію з інтенсивністю світла, що поглинає панель (рис. 1.2).

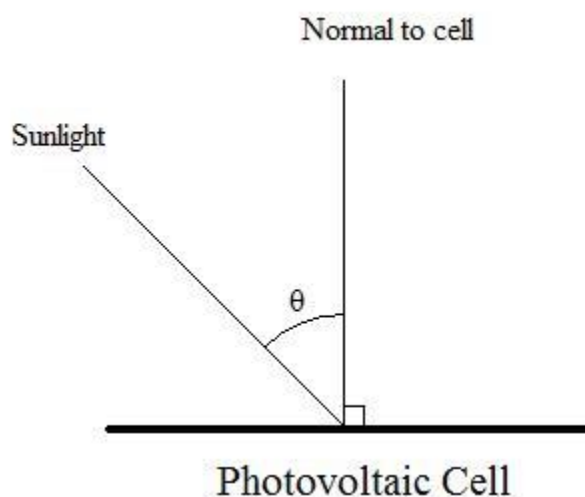


Рисунок 1.2 – Кут падіння на фотоелектричну комірку

Нормальний кут перпендикулярний до площини клітини. Сонячне світло потрапляє і вражає панель під кутом. Доступне сонячне світло для сонячного елемента для вироблення електроенергії можна розрахувати так:

$$W = A \lambda \cos(\theta) \quad (1.1)$$

де A – обмежувальний коефіцієнт перетворення в конструкції панелі;

λ – інтенсивність світла;

θ – кут нахилу сонячного світла до нормального кута.

Завдяки цьому розрахунку максимальна потужність, що генерується, буде тоді, коли сонячне світло потраплятиме у фотоелемент вздовж її

нормальної зони, і ніяка потужність не буде генеруватися, коли сонячне світло перпендикулярно до нормального. З фіксованою сонячною панеллю протягом дня виникає значна втрата потужності, оскільки панель не утримується перпендикулярно до сонячних променів. Система стеження може утримувати кут падіння в межах певної межі і зможе максимізувати генеровану потужність [3].

1.2 Актуальність розробки систем стеження за Сонцем

Як відомо, отримати максимальний ККД з використання сонячних панелей можна лише тоді, коли вони розташовані під прямим кутом до сонячних променів, що падають на них. Проте сонце рухається по небу, і в зв'язку з цим, панелі, які встановлені нерухомо не можуть віддавати максимальну ефективність (рис. 1.3).

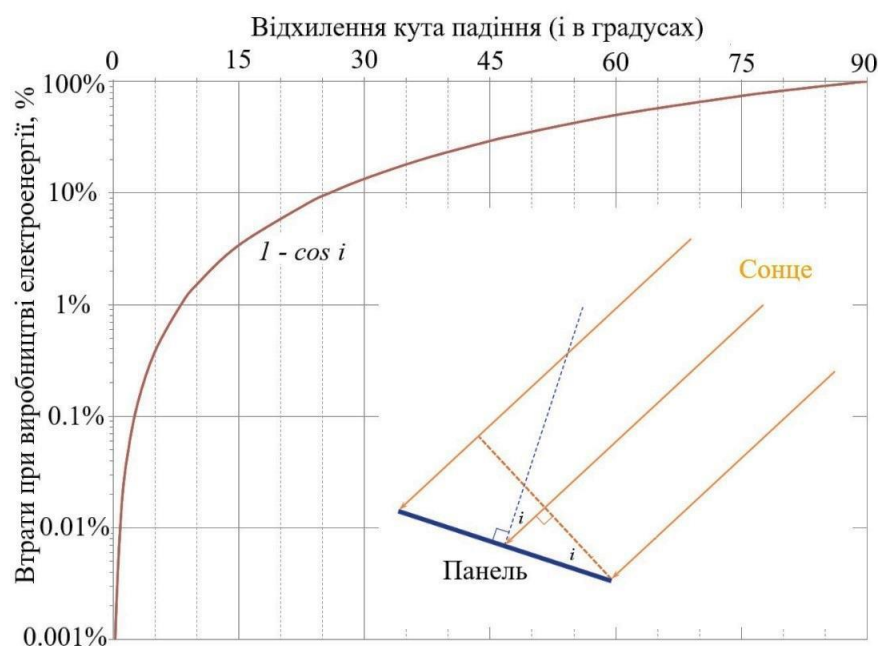


Рисунок 1.3 – Графік залежності втрат при виробництві електроенергії від відхилення кута падіння сонячних променів

Цей графік показує залежність величини втрат при виробництві електроенергії сонячними панелями від величини кута відхилення від

оптимального розміщення панелей. Із графіка можна зробити висновок, що трекер при точності $\pm 5^\circ$ надає панелі вловлення більше 99 % енергії прямо падаючих променів та 100% розсіяного світла.

Взявши до уваги особливості повсякденного переміщення сонця, можна запевнити, що найбільш ефективний кут для встановлення панелей становить близько 150° . Панель, яка статично встановлюється у середнє положення між точками сходу та заходу сонця, втрачає до 75% енергії, що могла б бути отримана при ідеальних розміщеннях її вранці та ввечері.

Крім того, що Сонце здійснює щоденний рух в напрямку зі заходу на схід, воно також виконує щосезонний рух в напрямку з півдня на північ, що в рік становить близько 45° (рис. 1.4). Якщо встановити панелі в середню точку між річною зміною траєкторії Сонця в напрямку від півночі на південь, то зниження видобутку енергії від максимально можливого буде складати близько 8%.

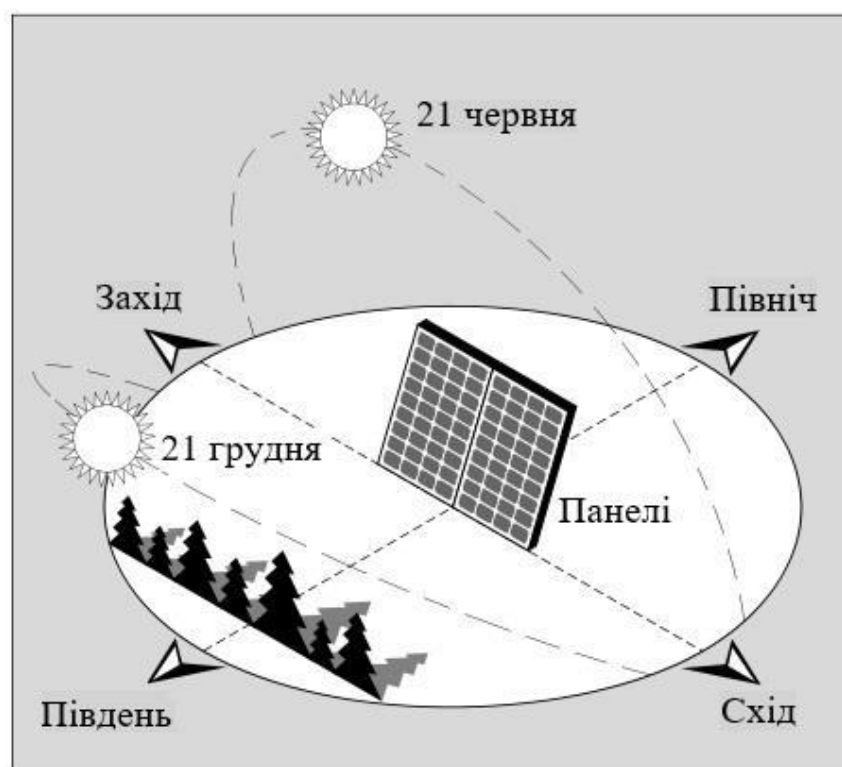


Рисунок 1.4 – Зміна положення Сонця в залежності від пори року

Сонячне схилення не менше також впливає на генерацію максимально можливої кількості енергії. Кут, який утворюється між сонячними променями та екваторіальною площиною, називається кутом схилення (рис. 1.5). У будь-який день δ приймається за константу, яка змінюється на наступний день. Емпіричне співвідношення Купера для розрахунку кута сонячного схилення (в градусах):

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left((284 + d) \cdot \frac{360}{365}\right) \quad (1.2)$$

де d – день року

Сонячне схилення можна знаходити іншим методом – кут між лінією, що з'єднує центри Сонця і Землі, і її проекцією на екваторіальну площину. Схилення Сонця змінюється у зв'язку з обертанням земної кулі навколо своєї осі. Максимальне значення досягає $23,45^\circ$ 21 грудня, а мінімальне – $23,45^\circ$ 21 червня [4].



Рисунок 1.5– Кут сонячного схилення

Отже, врахувавши всі нюанси пов'язані з рухом Сонця, можна зробити висновок, що для генерації максимальної енергії потрібно постійно змінювати кут нахилу сонячних панелей. Для цього використовують трекири – спеціальні пристрої, які повертають панелі «слідом» за Сонцем (рис. 1.6).

Використання трекера дозволяє збільшити ефективність сонячних панелей на 30-50% за рахунок того, що сонячні панелі повернуті під оптимальним кутом до сонця протягом всього дня. В результаті для

отримання необхідної потужності потрібно менше панелей і скорочується вартість кінцевої сонячної установки [5].

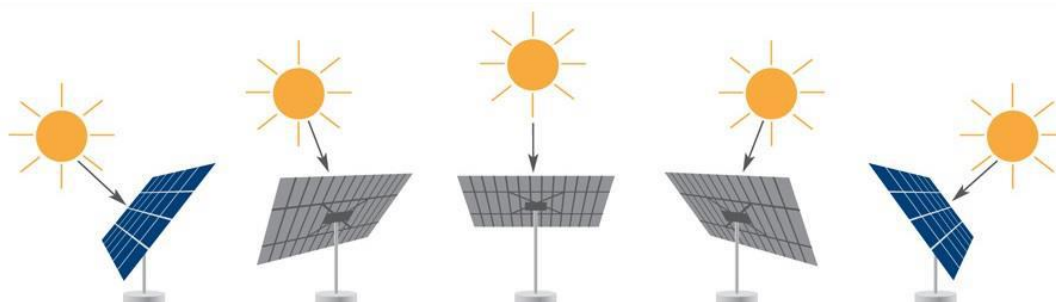


Рисунок 1.6 – Обертання сонячної панелі за сонцем за допомогою трекера

1.3 Класифікація сонячних трекерів

Трекер обирається в залежності від умов, в яких він буде експлуатуватися. Погодні умови та площа для монтування усановки відіграють основну роль при виборі трекера [6].

На сьогоднішній день велика кількість зарубіжних і вітчизняних компаній представляють для клієнтів різні види конструкції систем інсталяції фотоелектричних модулів (ФЕМ) в різному ціновому діапазоні. Із запропонованих видів систем виділяються лише дві основні – статичні і динамічні.

Статичні системи - це ті системи, що забезпечують статичне кріплення ФЕМ та орієнтуються в напрямку на південь під кутом, який обирається від розташування системи.

Динамічні системи, які називають трекерами, виконують автоматичне орієнтування ФЕМ за кутом до горизонту, за азимутутом (напрямом за стороною світу). Як одноосьові так і двохосьові системи широко представлені на ринку [7].

Класифікуються трекери за кількістю і положенню осей обертання (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Класифікація сонячних трекерів

1.3.1 Одноосьові сонячні трекери

Single axis trackers (SAT) – трекери з однією віссю обертання, які називають одновісними. Вісь обертання даного типу трекерів може розташовуватися в будь-яких координатних напрямках і використовувати будь-який алгоритм стеження. Існує кілька реалізацій одноосьових трекерів. Вони включають в себе трекери з горизонтальною віссю обертання (HSAT), вертикальною віссю обертання (VSAT), з похилою віссю обертання (TSAT) і з полярно-орієнтованою віссю обертання (PSAT). Особливо розповсюдженими можна вважати одноосьові трекери PSAT [8].

Відомо, що приріст видобутку енергії такого трекера в порівнянні з стаціонарним встановленням панелей щонаходиться в межах від 35 до 55 %.

Одноосьові трекери поділяться на:

1. Horizontal single axis tracker (HSAT) – трекери з горизонтально орієнтованою віссю, що мають вісь обертання, яка знаходиться горизонтально відносно до землі. На рисунку 1.8 представлений даний тип трекера.

HSAT є найбільш поширеним типом одноосових трекерів. Горизонтальний трекер з однією віссю обертається зі сходу на захід на нерухомій осі, яка паралельна землі. Трекер переміщується невеликим двигуном (приводом), з'єднаним з довгим центральним приводним важелем, який обертається на схід на захід між рядами панелей, встановлених на обертаючих трубах. Існують і інші механізми, але головна мета залишається незмінною - орієнтувати панелі зі сходу на захід протягом дня, коли сонце рухається.

Система із HSAT трекерів дає більше енергетичної енергії в порівнянні з фіксованим нахилом панелей на протязі всього року. Щорічно на середньостатистична HSAT буде генеруватися на 17% більше, ніж у середньостатистична система з фіксованим нахилом панелей.

Різновидом HSAT є трекери, що монтуються на стінах великих будівель – WHSAT (Wall Horizontal single axis tracker).

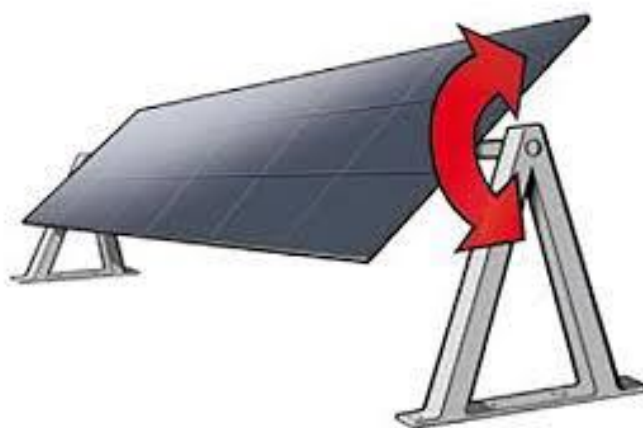


Рисунок 1.8 – Трекер з горизонтально орієнтованою віссю

2. Vertical single axis tracker (VSAT) – трекери з вертикальною віссю обертання. Даний вид передбачає розташування вертикальної осі обертання по відношенню до землі. Подібний трекер зображений на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Трекер з вертикально орієнтованою віссю

Такі трекери рухаються протягом дня, слідкуючи за сонцем. Вони більш ефективні в високих широтах, ніж HSAT. При побудові системи із сонячних батарей потрібно розраховувати затінення від сусідніх площин з панелями, для того щоб запобігти непотрібним втратам енергії і на максимум використати поверхню для видобутку енергії.

В основному VSAT мають конструкцію, що орієнтується під кутом по відношенню до осі обертання, а фотоелементи встановлюються на неї [8].

3. Tilted single axis tracker (TSAT) – трекер з однією похилою віссю обертання. В даних трекерах вісь обертання знаходиться між горизонтальною та вертикальною осями (рис. 1.10).

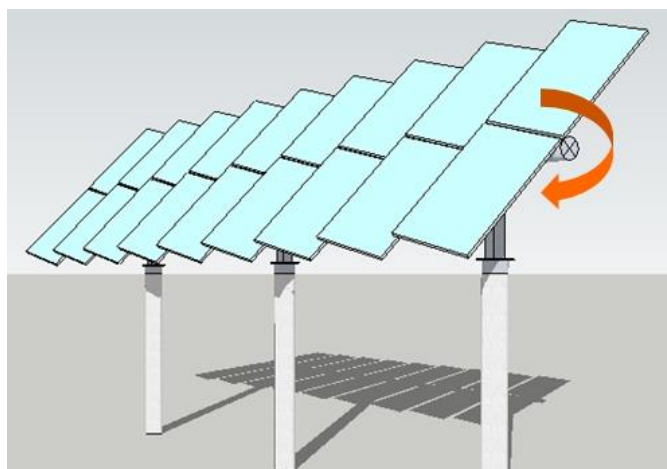


Рисунок 1.10 – Трекер з похилою віссю обертання

1.3.2 Двоосьовий сонячний трекер

Dual axis trackers (DAT) – трекер з двома осями, що обертаються. DAT має дві осі свободи, за якими він рухається. Ці осі, знаходяться окремо одна від одної, але працюють разом. Основними перевагами дохосьових трекерів є те, що вони забезпечують постійно максимальну вихідну потужність сонячних панелей протягом всього дня. У світі відомо дві основні реалізацій двохосьових трекерів: TTDAT і AADAT.

Tip-tilt dual axis tracker (TTDAT) – трекери, що мають дві осі обертання на несучому стовпі. Вони названі так, тому що площина з панелями встановлюється на кінці високого стовпа. Даний трекер показаний на рисунку 1.11.



Рисунок 1.11 – Трекер з двома осями обертання (TTDAT)

Рух трекера у напрямках зі сходу на захід керується поворотом плити навколо верхнього полюса, на якому встановлено підшипник. У верхній частині підшипника розташований механізм, який виконує обертання площини з панелями у напрямках із півдня на північ та кріпиться до плити з панелей. Як правило, трекери повинні бути розташовані на досить низькій щільності, щоб уникнути того, щоб один трекер кидав тінь на

інших, коли Сонце низько в небі. Сенсори з нахилом можуть компенсувати це, нахилиючись ближче до горизонталі, щоб звести до мінімуму затінення від сонця і, таким чином, максимізувати повну зібрану потужність [9].

Azimuth altitude dual axis tracker (AADAT) – трекери з двома осями обертання і опорною площиною. В них головна з осей – вертикальна (рис. 1.12). Ці трекери досить схожі на TTDAT, проте відрізняються алгоритмом повороту площини з панелями. Зазвичай AADAT системи встановлюються на поворотне кільце, яке встановлюється на землі чи спеціальній платформі.



Рисунок 1.12 – Трекер з двома осями обертання і опорною площиною

Перевагою даної системи є те, що маса усієї площини з панелями рівномірно розподіляється між кільцем та не перевантажує кріплення, на відміну від TTDAT. Це допускає AADAT утримувати набагато більше панелей на площині ніж TTDAT, проте відстань між площинами панелей має бути більша, для уникнення міжтрекерного затінення та отримання максимальної енергії від Сонця [10].

1.4 Переваги використання динамічних систем стеження за сонцем

Основні переваги у використанні динамічних систем для сонячних електростанцій є:

- збільшення вироблення електроенергії до 40% у порівнянні з нерухомими конструкціями;
- збільшення прибутків від продажу електроенергії у довгостроковій перспективі;
- можливість керувати площиною з панелями при сильних поривах вітру, що дозволить запобігти розрушенню конструкції.

Щоб підтвердити ефективність використання трекерів, для прикладу, розглянемо дані про виробіток електроенергії фотоелектричних станцій (ФЕС) з різним типом кріплення протягом року. Дані взяті для 10kW ФЕС, з урахуванням втрат в 24,3%, розташовану під кутом 34° до землі, на території Києва [11].

Таблиця 1.1 – Кількість kWh вироблених кожного місяця для ФЕС з різним кріпленням

Місяць	Статична ФЕС	Одноосьова ФЕС	Двоосьова ФЕС
Січень	262	297	306
Лютий	417	494	501
Березень	847	1080	1090
Квітень	1010	1350	1370
Травень	1210	1720	1780
Червень	1160	1620	1670
Липень	1180	1620	1680
Серпень	1090	1480	1520
Вересень	817	1050	1080
Жовтень	591	721	753
Листопад	250	281	297
Грудень	195	218	243
Всього за рік	9029	11931	12290

Аналізуючи дані з таблиці 1 та рисунку 1.13 очевидно, що ФЕС з використанням трекерів з осями обертання відчутно ефективніше за статично встановлену. В даному випадку виробіток електроенергії збільшився на 36,1% за рік у порівнянні з ФЕС без використання трекера.

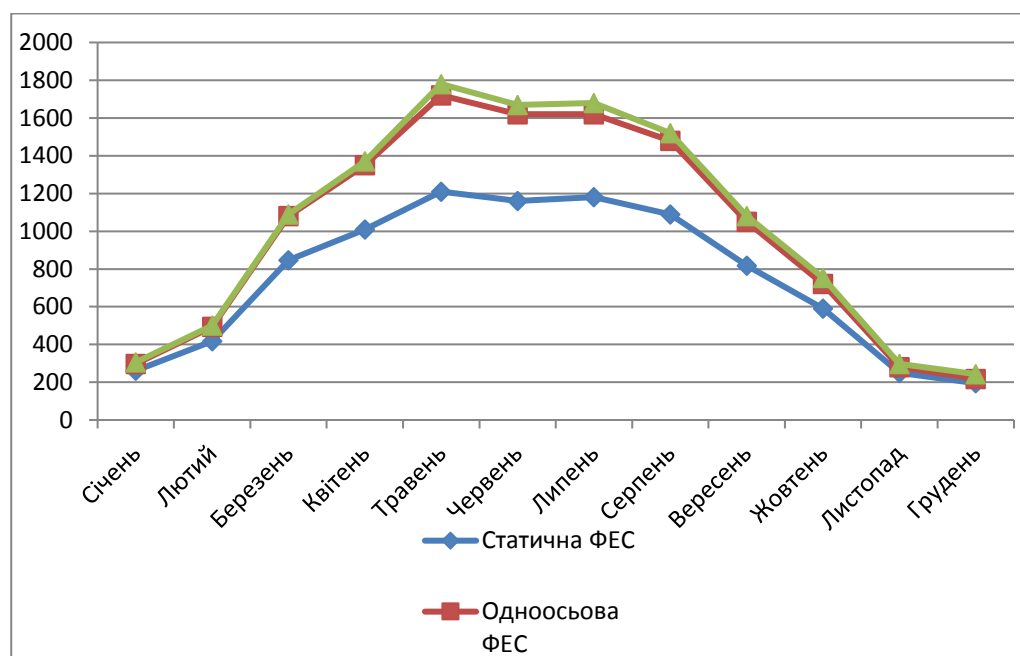


Рисунок 1.13 – Графік виробітку ФЕС з різним кріпленням

1.5 Будова сонячного трекера

Сонячний трекер – це система, призначена для орієнтації на Сонце робочих поверхонь систем, які генерують електроенергію. В даному випадку робочою поверхнею виступають сонячні фотоелектричні модулі. На рисунку 1.14 показано будову типової сонячної електростанції з використанням трекера.

Сонячний трекер у повній своїй комплектації складається з:

- несучої конструкції, яка складається із фіксованої та рухомої частини з одною чи двома осями обертання;
- системи позиціонування, яка складається із актуаторів (рис. 1.15) та пристроїв, що керують ними;

- системи безпеки від перевантажень, блискавок та системи аналізу даних про погодні умови;
- системи керування та інтерфейсу, призначеного для обслуговування енергосистеми;
- системи віддаленого доступу, яку забезпечує роутер, що підключений до інтернету;
- системи навігації, для визначення географічного положення станції. На стаціонарних трекерах не обов'язково встановлювати навігацію.
- інвертор, для перетворення постійного струму в змінний та передачі його споживачеві або на приймаючу станцію. Кількість інверторів може бути від одного до трьох [12].

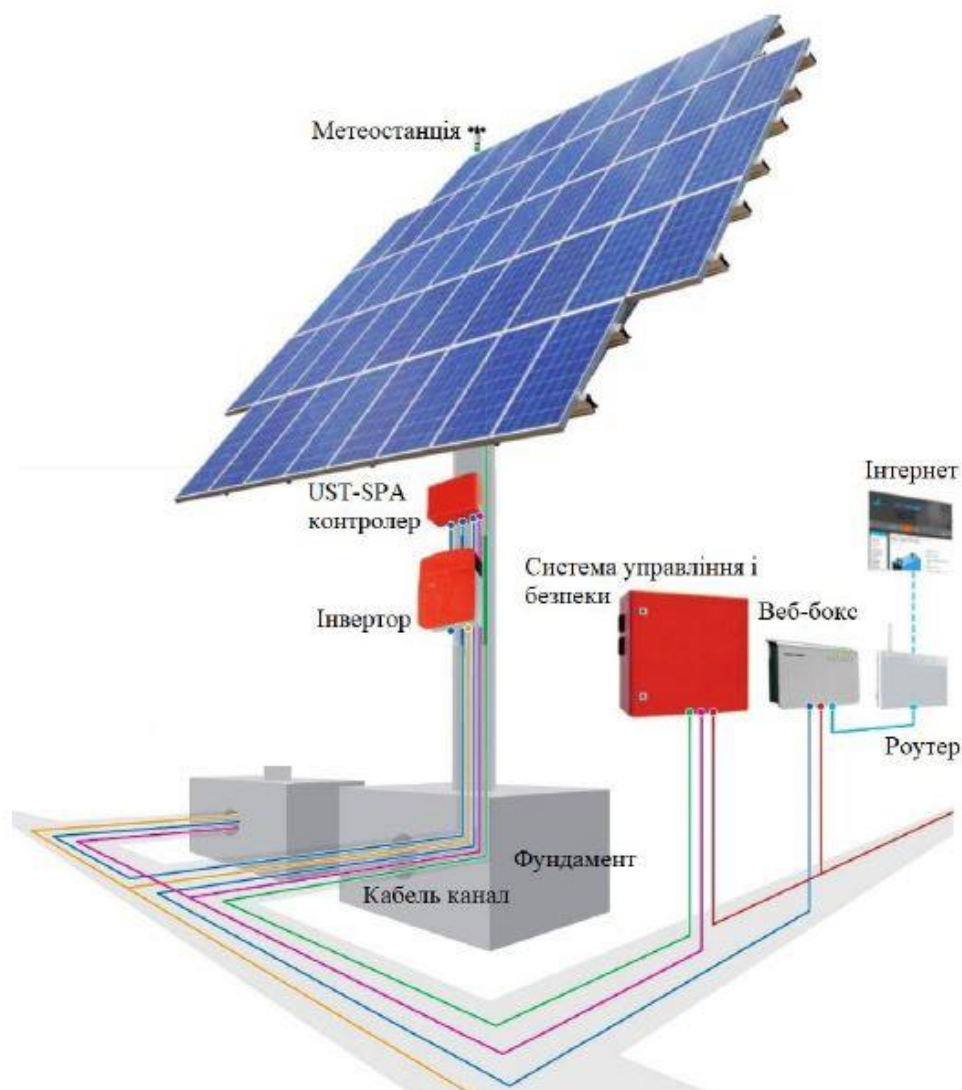


Рисунок 1.14 – Зображення сонячного трекера

Необхідність повної комплектації трекера не завжди економічно вигідна, тому на практиці деякі складові можуть бути відсутні.

Конструкція трекера повинна витримувати сильні вітри. При збільшенні кількості сонячних панелей на платформі, відповідно повинна збільшуватися і парусність всієї конструкції.



Рисунок 1.15 – Сонячна панель з встановленим актуатором

1.6 Способи керування сонячним трекером

Продуктивність сонячних панелей залежить не тільки від сонячного випромінювання чи стану і температури навколишнього середовища, але і від кута падіння сонячної радіації на поверхню панелі. Отже, основне завдання трекера – встановити кут нахилу поверхні панелей, орієнтуючи їх точно на Сонце [13].

Протягом дня Сонце рухається по небу зі сходу на захід, тому кут між сонцем і фіксованою поверхнею панелей постійно змінюється. Таким чином, концентрація потужності на фіксованому модулі сонячної батареї менше, ніж у падаючого сонячного світла. Останнім часом багато робіт було зроблено для того, щоб максимізувати витяг потужності з сонячної

панелі. Сонячна система відстеження пропонує практичне технологічне рішення підвищити енергоефективність, що створюють панелі. Широкі дослідження і експерименти показали, що підтримання постійного прямого кута впливу Сонця на поверхню панелей, завдяки системі стеження виробляють до 40% більше потужності ніж фіксовані панелі [14].

Як правило, сонячний трекер є пристроєм, що використовується для вирівнювання фотоелементів панелі до сонця. У цьому контексті існують три типи система стеження за сонцем, а саме пасивний трекер, активний трекер і трекер з відкритим циклом.

Пасивний трекер використовує два пневмоупори зі стисненою газовою рідиною, що розміщується відповідно на схід і на захід від відстеження. Однак цей газовий трекер рідко ставить панель безпосередньо на Сонце через непередбачувану атмосферну температура. Тим не менш, як просування сенсорної технології, датчик освітленості використовується в активній системі відстеження сонця і його розміщують в різних місцях трекера, щоб визначити найкраще положення сонця, завдяки якому актуатори керують нахилом панелей. Тим не менш, ефект хмари і тіні є основним недоліком системи. Це спричиняє втрату ефективності системи, адже витрачається потужність на привід нахилу панелей в різні положення, під час пошуку максимально оптимального їх розміщення. Крім того, трекер відкритої петлі також зазвичай використовується для відстеження шляху сонця, як показано на рисунку 1.16. Трекер використовує заздалегідь визначену астрономічну базу даних для визначення позиції сонця для будь-якого заданого часу і координати розташування за допомогою мікроконтролера. Крім того, трекер з відкритою петлею оснований на висоті і азимутальній позиції Сонця, отже, ця система не залежить від температури навколишнього середовища і від погоди. Дані обставини дають великі переваги, такі, що вона не виключає небажаного розсіювання потужності і складності. І навпаки, трекер з

відкритою петлею також має недоліки, які могли б зменшити ефективність виходу, як приклад, невідповідність трекера під час налаштування через людську помилку.

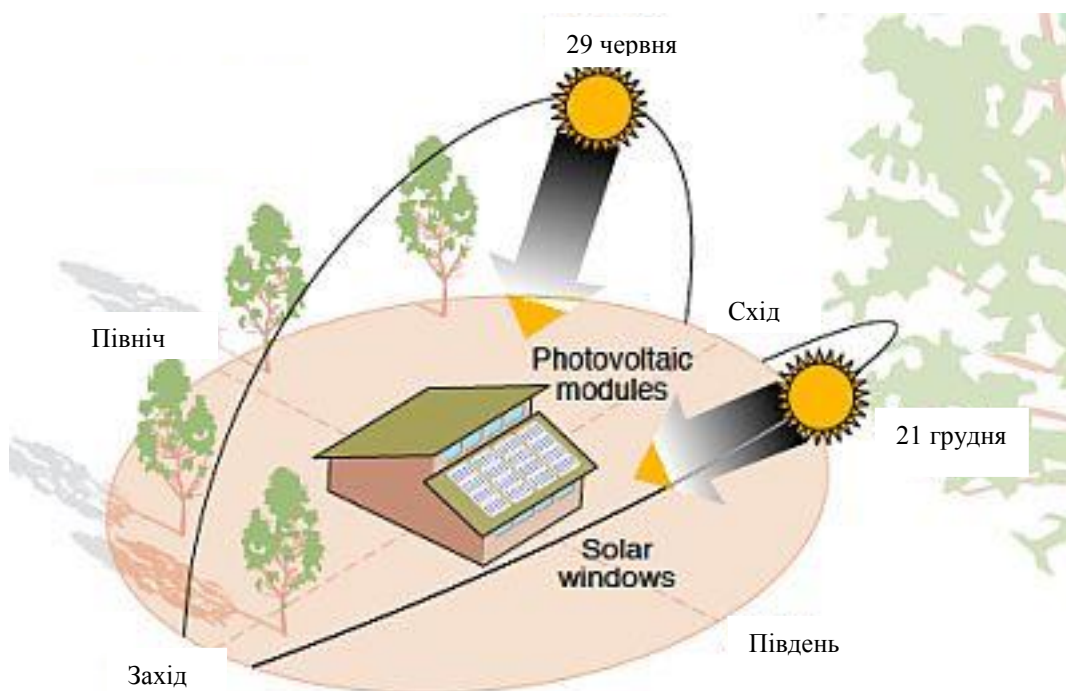


Рисунок 1.16 – Зображення руху Сонця зимою та літом

Крім того, перед розгортанням сонячного трекера база даних сонячної траєкторії встановлюється вручну постачальником або підрядником. Як ми всі знаємо, кожна локація має свій унікальний сонячний шлях, внаслідок чого вона передбачає додаткову втручання людини, що збільшить вартість налаштування або установки. Також буде змінюватися конструкція механічної системи. Як правило, деякі можуть використовувати простий одноосьовий трекер, який лише на 20%, має кращий енергетичний коефіцієнт, ніж статичне розташування панелей [15].

Теоретично, також існує система позиціонування сонячних панелей без застосування актуаторів та датчиків світла. Вона базується на зміні кута нахилу панелей завдяки ручній праці. Як правило, ці системи

змінюють кут вздовж однієї осі (північ - південь) і виконують це в залежності від пори року та безпосередньо висоти сонця над горизонтом. Проте треба вражувати, що якщо ви маєте у власному керування досить потужну СЕС, то для зміни положення панелей вручну потрібно буде затратити дуже багато часу та сил. Хоча для відносно невеликих СЕС, приріст енергії в порівнянні зі статичним розташуванням панелей буде досить значний і може досягати до 10%.

Керування трекером реалізовується за різними концепціями, основні з них:

1. Робота системи позиціонування сонячних панелей базується на фотоприймачах (рис. 1.17). Вони встановлюються на різних сторонах трекеру, та в залежності від положення Сонця отримують дані про їх освітленість. Далі вони передають керуючі сигнали на актуатори до тих пір, поки дані на фотоприймачах не стануть однакові [16].

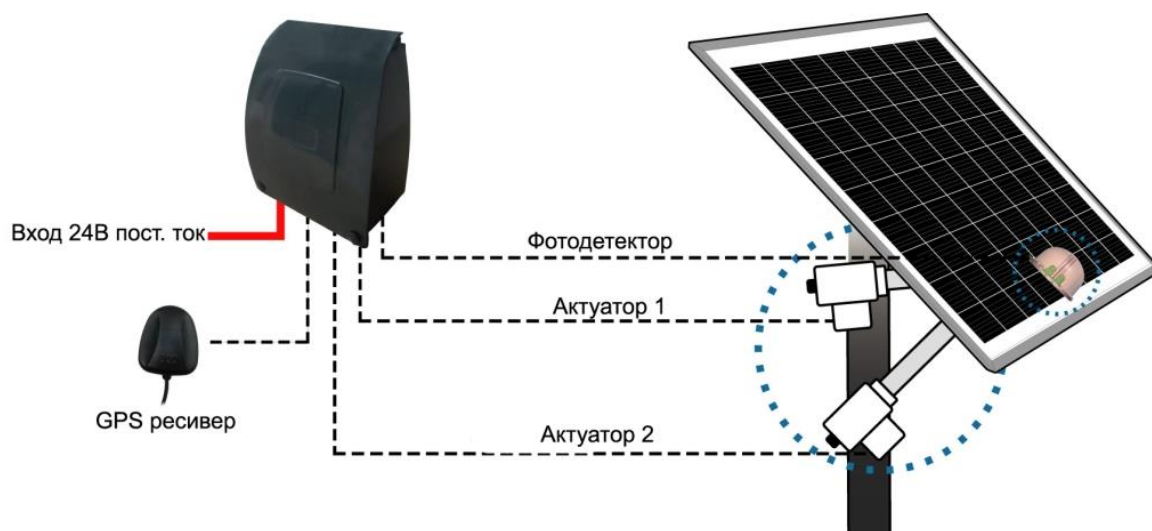


Рисунок 1.17 – Зображення трекеру на фотоприймачах

Основним недоліком такої системи є некоректна робота у хмарну погоду та при забруднених фотодетекторах, а перевагою – доступна ціна.

2. Управління актуаторами за допомогою програми, яка відповідно до інтервалів часу визначає теоретичне місце розташування Сонця. Сонце

протягом року рухається по небу із сходу на захід та його положення описується двома координатами: Азимут і Зенітний кут (рис. 1.18). Азимут – це кут між розташуванням Сонцем та півдня. Зенітний кут – кут між лінією, що сполучає Сонце та предмет, на який воно світить та горизонтальною площиною [17].

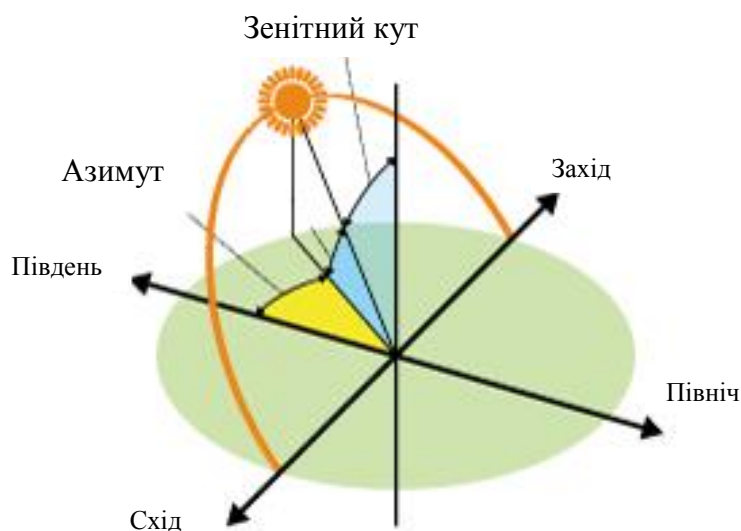


Рисунок 1.18 – Розташування Сонця за Азимутом та Зенітним кутом

За внутрішнім годинником, який вмонтовано у пристрій, програма розраховує значення Азимута і Зенітного кута та надає блоку керування. Також враховується місцезнаходження трекера. Далі виконується перерахунок координат для зміни положення сонячних панелей

3. Керування положенням трекера за допомогою Азимута і Зенітного кута. Основна ідея роботи системи базується на тому, що треба правильно компенсувати лише два зміщення Землі:

- добове зміщення, внаслідок обертання Землі довкола своєї осі;
- річне зміщення, внаслідок обертання Землі навколо Сонця.

Дана системи для керування рухом трекера містить в собі таймер, в якому задана добова чи річна програма, за якою працюють актуатори. Проте точність позиціонування системи не дуже висока, так як Сонце з

кожним днем року змінює місце, час сходу, час заходу і тому подібне. Для прикладу на рисунку 1.19 приведено середня значення сонячного шляху для одного дня кожного місяця на широті 49° [17].

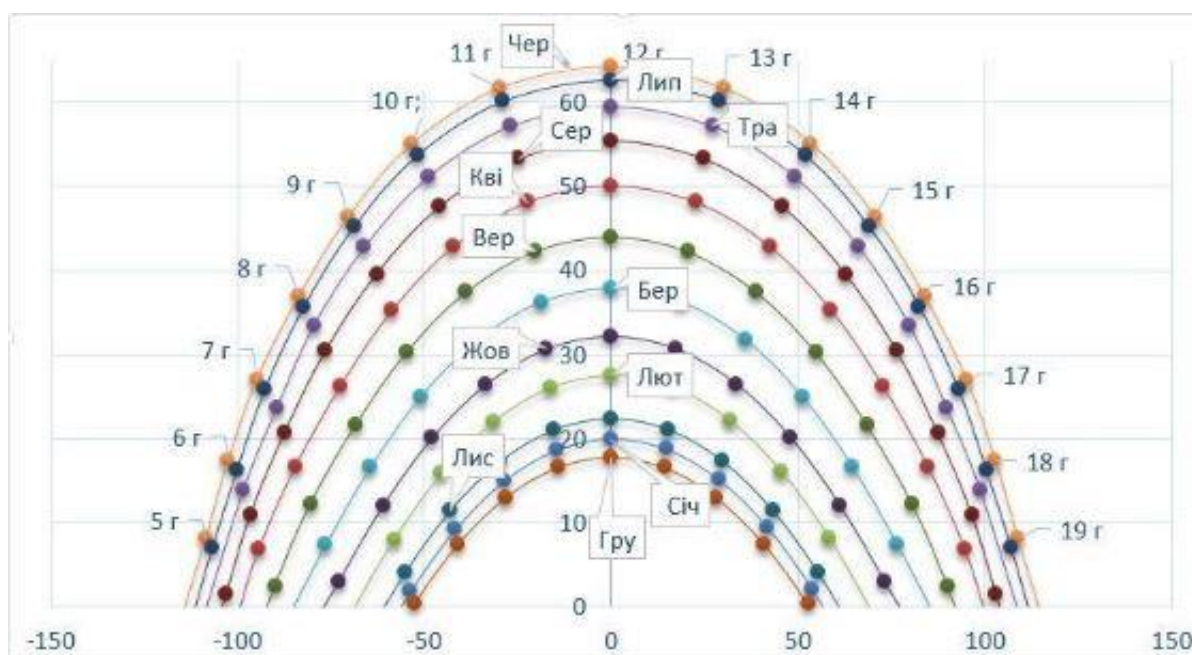


Рисунок 1.19 – Середнє значення сонячного шляху для одного дня кожного місяця на широті 49°

1.7 Огляд існуючих рішень

Сонячна енергія стає все більш життєздатним джерелом енергії для багатьох промислових та побутових приладів. Кількість енергії, що виробляється сонячною системою, залежить від кількості сонячного світла. Таким чином, фотоелектричні системи відстеження є найкращими для збільшення кількості сонячного опромінення у фотоелектричних системах. Підвищення ефективності та зниження витрат є двома основними цілями для підвищення конкурентоспроможності систем автоматичного позиціонування. Механізм відстеження повинен бути надійним і здатним стежити за Сонцем з певним ступенем точності, повертати колектор у вихідне положення в кінці дня або протягом ночі, а також відстежувати в періоди хмарного покриву [18].

Існує ряд робіт, запропонованих багатьма дослідниками для відстеження сонця. Перший побудований трекер, що був повністю механічним, зроблений Фінстером у 1962 році . Пізніше Сааведра представив механізм з автоматичним електронним керуванням . Він був використаний для орієнтування піпеліометра Епплі. Мальдонадо розробив і побудував трекер сонця у UTFSM. Положення Сонця обчислювалося за допомогою обчислювальної програми або визначалося сервоприводом, а система забезпечувала надійну автоматичну орієнтацію піргеліометра [18].

З кожним роком розвитку сонячної енергетики дослідники розробляли все більше різних прототипів системи стеження за сонцем та удосконалювали їх для підвищення продуктивності сонячних панелей. Далі буде розглянуто лише деякі з них.

Перша система використовує датчики освітлення, завдяки яким позиціонує панель оптимально до сонця. Схема цієї системи зображена на рисунку 1.20.

Схема пристрою містить мікросхему LM339, яка представляє собою чотири аналогових компаратора в загальному корпусі. Мікросхема L293D – здвоєний Н-міст, керує двома моторами. Крім мікросхем принципова схема містить кілька дискретних елементів. В якості датчиків інтенсивності освітлення використовуються фоторезистори LDR1 - LDR4. Дані фоторезистори визначають положення сонячної панелі відносно променів сонця.

Блок фоторезисторів спільно з компаратором LM339 формує сигнали управління для драйверів моторів L293D. Фоторезистори LDR1 і LDR2 закріплені в панелі по осі X, а LDR3 і LDR4 - по осі Y. Резистори налаштовують систему так, щоб двигуни зупинялися коли сонячні промені падають на панель перпендикулярно до її площини, при цьому на виходах компараторів має бути низька напруга.

Алгоритм роботи досить простий. Система має дві осі переміщення панелей: X та Y. Розглянемо принцип роботи на прикладі переміщення по осі X. Якщо фоторезистор LDR2 отримав більшу кількість світла ніж LDR1, то на виході компаратора A2 з'являється більша напруга і мотор M1 починає повертатися з одного боку (скажімо проти часової стрілки), повертавши сонячну панель.

Якщо LDR1 отримує світла більше, ніж LDR2, то його опір стає меншим, ніж опір LDR2, тим самим зменшуючи напругу на входах компараторів. На виході компаратора A2 з'являється високий рівень і мотор починає повертатися в протилежний напрям (скажімо, за часовою стрілкою). За тим же принципом працює стеження по осі Y.

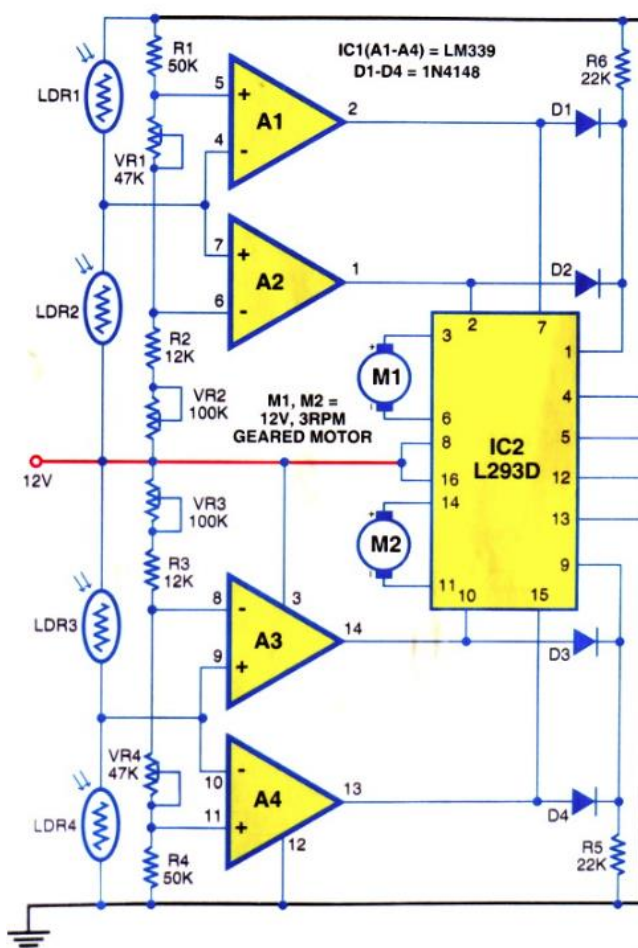


Рисунок 1.20 – Схема системи керування трекером на базі мікросхеми L293D

Цей вид системи позиціонування сонячних панелей можна використовувати як для забезпечення електроенергією будинку так і в більших масштабах для комерційних цілей.

Перевагою даної схеми є те, що вона не потребує точних моделей резисторів та елементів. Однак, суттєвий недолік – ефективність системи залежить від максимально точного налаштування програмного забезпечення.

Друга схема системи керування трекером досить проста і складається з операційного підсилювача LM1458, транзисторів BD139 і BD140, фоторезисторів, діодів 1N4004 та резисторів (рис. 1.21).

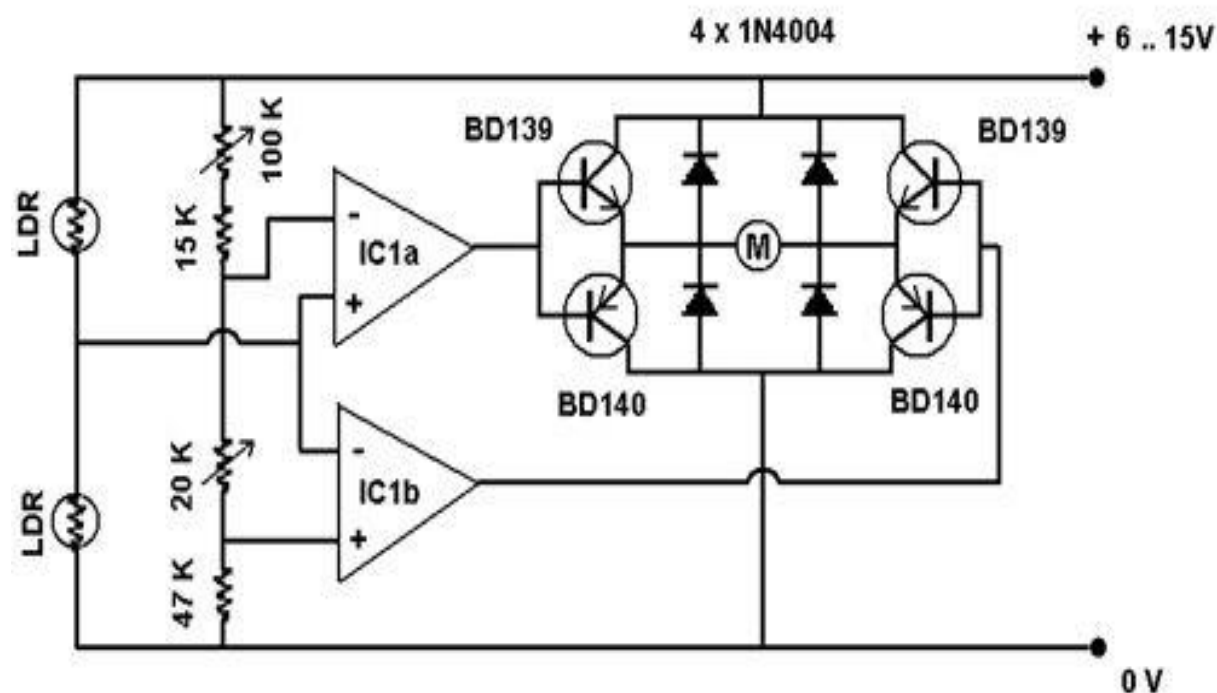


Рисунок 1.21 – Схема системи керування трекером на базі операційного підсилювача

Із схеми видно, що двигун М приводиться в дію при різних значеннях на виходах операційних підсилювачів IC1b і IC1a. В таблиці можна побачити роботу двигуна при різних значеннях на виходах ОП.

Транзистори в схемі працюють в парі, по діагоналі комутуючи $+V_e$ чи $-V_e$ до двигуна, і змушує його повертатися вперед чи назад.

Під час зупинки двигуна, він продовжує обертатися, тому що присутній обертальний момент. Внаслідок цього, двигун якийсь час генерує потужність, яка може вивести транзистори з ладу. Для захисту транзисторів в схемі моста використовується 4 діода [18].

Таблиця 1.2 – Таблиця істинності ОП

Вихід IC1a	Вихід IC1b	Стан двигуна
Низький	Низький	Зупинений
Низький	Високий	Вперед*
Високий	Високий	Зупинений
Високий	Низький	Назад*

* чи навпаки, залежить від підключення двигуна

Схема в звичайному режимі завжди порівнює показання від фотодатчиків LDR, і до того моменту поки вони однакові, на виходах ОП зберігається баланс. Однак якщо показання починають відрізнятися, то порушується баланс на виходах ОП і вони активують двигуни та за певним алгоритмом рухають трекер у правильне положення у напрямку сонця [19]. Такий принцип роботи відбувається протягом усього дня, де значення на фоторезисторах порівнюються постійно.

Дана схема дає приріст в 20 – 30 % у вироблені електроенергії у порівнянні з статичними системами, проте працює досить неякісно при хмарній погоді. Також дана система позиціонування має лише одну вісь обертання.

Наступна система запропонована авторами статті [20], яка основана на мікроконтролері Atmel IC AT89C51 (рис. 1.22). Дана система позиціонування базується на управлінні лише мікроконтролером.

Положення визначається найбільшою напругою на панелі тому, що на аналогові входи мікроконтролера напряму підключена сонячна панель. Таке рішення доволі вигідне в економічному плані, проте точність даної системи бажає вважати кращого.

Система має розрахунковий річний приріст енергії 35% у порівнянні з нерухомим трекером [20].

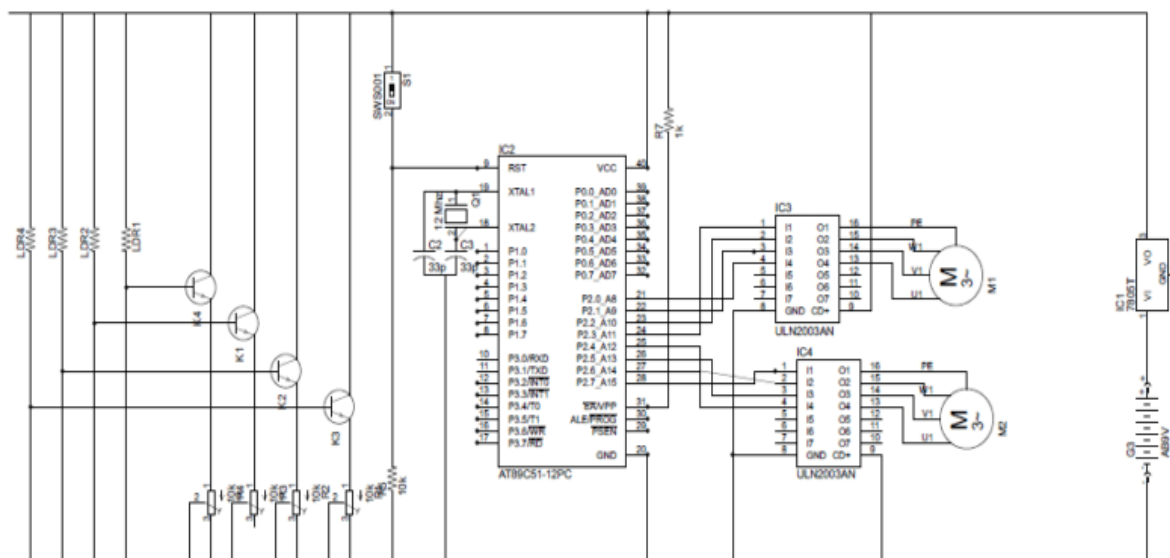


Рисунок 1.22 – Схема системи керування трекером на базі мікроконтролера Atmel IC AT89C51

1.8 Постановка задачі проекту

Аналізуючи викладений вище матеріал та проблематику даної сфери, були поставлені наступні задачі, які будуть вирішені в процесі виконання цієї роботи:

- 1) розробка алгоритму роботи системи позиціонування панелей;
- 2) розробка принципової електричної, структурної, функціональної схеми системи;
- 3) вибір елементної бази для побудови системи;

Розроблена система в режимі реального часу має вимірювати поточне значення Зенітного кута і Азимута завдяки спеціальним датчикам та порівнювати з поточними координатами розташування сонця, які залежать від години, дня, місяця, року. Далі аналізуючи ці дані сонячний трекер за допомогою двох двигунів буде направлятися в таке положення, яке буде утворювати між площиною панелей та сонячними променями прямий кут. Координати орієнтації трекера виводитимуться на дисплей.

№	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

IA51.050БАК.005 ПЗ

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

2.1 Розробка алгоритму функціонування системи

Розроблювана система повинна виконувати в першу чергу опитування датчиків освітлення, які встановлені на сонячних панелях, при цьому також розраховуються Зенітний і Азимутальний кути. Ці показання відображаються на LCD дисплей. Далі поточні показання порівнюються з прописаними в пам'яті трекера значеннями і панелі за допомогою серводвигунів розташовуються так, щоб сонячні промені падали під прямим кутом на поверхню. Також додатково реалізована можливість задання координат системи через інтерфейс USART і повернення трекера у вихідне положення після заходу Сонця.

З урахуванням нашої поставленої задачі складаємо алгоритм роботи системи позиціонування, яка проектується. Робота проектованої системи починається з ініціалізації. Наступним кроком починається опитування підключених датчиків до трекера, яке працює циклічно. Для отримання інформації з датчиків здійснюється опитування портів вводу-виводу мікроконтролера. Показання записуються в пам'ять системи. Після опитування всіх датчиків та отримання від них інформації, система виконує обробку даних. В результаті цього обчислюються Азимутальний і Зенітний кути. В залежності від поточної дати та часу, система порівнює їх із заданими в пам'яті, і якщо вони відрізняються, мікроконтролер дає команду серводвигунам, які змінюють кути нахилу трекера до поки вони не стануть дорівнювати кутам розташування Сонця.

Алгоритм роботи цієї системи позиціонування сонячних панелей, яка проектується, показано у додатку IA51.050БАК.005 Д1

2.2 Розробка структурної схеми пристрою

Щоб реалізувати алгоритм роботи системи потрібні такі функціональні блоки, які показані в додатку ІА51.050БАК.005 Э1.

Систему можна умовно поділити на декілька частин: блок збору показань, блок обробки значень, пристрій відображення інформації. Датчики потрібні для виміру фізичних величин, які постійно аналізуються та порівнюються.

Система узгодження являє собою драйвер для функціонування серводвигунів.

Механізмом, який здійснює поворот платформи із сонячними панелями є два актуатора. Вони отримують сигнали на виконання руху від мікроконтролера.

Пристрій обробки даних є головним вузлом системи, який керує опитуванням датчиків, обробляє отриману інформацію, передає її на пристрій виведення інформації та керує підключеним до нього навантаженням.

2.3 Розробка функціональної схеми системи

Так як в розробленій системі передбачається циклічне опитування датчиків, розрахунки по формулам, виведення результатів розрахунків на дисплей в реальному часі та керування серводвигунами, можна дійти висновку, що систему логічно проектувати на базі мікроконтролера.

Дану систему умовно краще розділити на декілька блоків, для кращого розуміння:

- 1) блок, який визначає розташування трекера у просторі;
- 2) мікроконтролер, який виконує порівняння показань датчиків з поточними координатами сонця, подає сигнали серводвигунам на виконання переорієнтації трекера і виводить координати на дисплей;
- 3) інтерфейс користувача, в нашому випадку це LCD дисплей.

Система для орієнтації у просторі складатиметься з датчика кута нахилу (акселерометра) та модуля електронного компаса. Цих даних достатньо для досягнення точних даних для переорієнтації трекара.

В проектованій схемі в якості датчиків будуть використовуватися:

1) магнітометр – вимірювальний прилад, призначений для вимірювання параметрів магнітного поля [21]. Магнітне поле Землі в будь-якій точці характеризується вектором напруженості T , напрям якого можна визначити за трьома складовими по осях X , Y , Z в прямокутній системі координат (рис. 2.3). Також воно описується горизонтальною складовою напруженості H , тобто за Азимутальним кутом;

2) акселерометр – прилад, призначений для вимірювання різниці істинного прискорення об'єкта та гравітаційного, іншими словами знаходить інерційну масу. Ці дані завдяки розрахункам переведуться в значення Зенітного кута;

3) годинник реального часу, так як Сонце постійно змінює своє положення протягом часу та пори року. В пам'яті мікроконтролера створюється таблиця зі значеннями відповідності кутів положення сонця та показань годинника в даний момент.

В якості інтерфейсу передачі даних між датчиками і мікроконтролером використовується Inter-Integrated Circuit (I^2C) – це протокол, який створювався для зв'язку інтегральних мікросхем всередині електронного пристрою. В основі цього протоколу використовується 8-бітна шина, яка виступає мостом для зв'язку між блоками в керуючій електроніці, та системи адресації, завдяки якій відкривається можливість спілкуватися з декількома пристроями по однакових дротах. Просто дані передаються з додаванням до пакетів ідентифікатора потрібного елемента.

Найпростіша схема I^2C може містити в собі один ведучий пристрій (зазвичай мікроконтролер) і декілька введених (наприклад, дисплей LCD).

Кожен має адресу в діапазоні від 7 до 127. Двох однакових адрес пристроїв в одній схемі не має бути [22].

З протоколу I²C можна виділити такі переваги:

- підтримує різні швидкості передачі даних відповідно до версій 100 Кбіт/с, 400 Кбіт/с, 1 Мбіт/с до 3,4 Мбіт/с;
- синхронна комунікація типу SPI;
- використовує лише 2 лінії – SDA (Serial Data) і SCL (Serial Clock);
- у ланцюзі можуть бути використані більше одного пристрою;
- легко виконати діагностику виникнення помилок та їх виправлення;
- для керування декількома пристроями потрібен лише один мікроконтролер;
- пристрої можуть бути вилучені з апаратних засобів, не впливаючи на будь-які інші схеми на шині.
- Проте I²C має і ряд недоліків:
- напівдуплексний режим зв'язку;
- потребує більш складного обладнання;
- швидкість передачі даних менша, ніж у SPI [23].

Як інтерфейс передачі даних на комп'ютер використовується інтерфейс RS-232. Даний інтерфейс досить просто реалізувати апаратно, він має високу швидкість передачі даних, конкурентноспроможну завадостійкість, підтримується більшістю сучасних мікроконтролерів.

Інтерфейс RS-232-C з'єднує два пристрої. Лінія передачі першого пристрою з'єднується з лінією прийому другого і навпаки (повний дуплекс). Для керування з'єднаними пристроями використовують програмне підтвердження (введення відповідних керуючих символів у потік переданих даних). Також можлива організація апаратного підтвердження шляхом організації додаткових RS-232 ліній для забезпечення функцій визначення статусу і управління [24].

RS-232C - це інтерфейс, з яким ваш комп'ютер використовує для спілкування та обміну даними з вашим модемом та іншими послідовними пристроями. Десь у вашому ПК, як правило, на чіпі універсального асинхронного приймача / передавача (UART) на вашій материнській платі, дані з вашого комп'ютера передаються на внутрішній або зовнішній модем (або інший послідовний пристрій) з інтерфейсу DTER. Оскільки дані у вашому комп'ютері протікають вздовж паралельних контурів, а послідовні пристрої можуть обробляти лише один біт за раз, чіп UART перетворює групи бітів паралельно послідовному потоку бітів [25].

Дані RS-232C передаються в послідовному коді побайтно. Кожен з байтів отримує стартовий і стоповий біти. Формат даних, що передаються, показано на рисунку 2.1 [24].

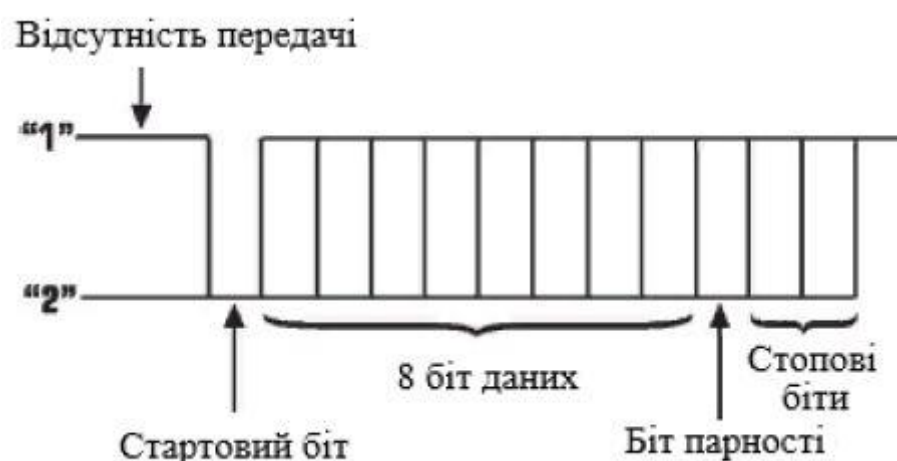


Рисунок 2.1 – Формат даних RS-232C

Власне дані (5, 6, 7 або 8 біт) супроводжуються стартовим бітом, одним або двома стоповими бітами, бітом парності. Отримавши стартовий біт, приймач вибирає з лінії біти даних через певні інтервали часу. Важливо, щоб тактові частоти передавача і приймача були однаковими (нормальна розбіжність - не більше 10%). Швидкість передачі по RS-232C може вибиратися з ряду: 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 біт/с [24].

Перевагами цього інтерфейсу вважають: високе розповсюдження, простоту і дешевизну з'єднувального кабелю, доступність програмного забезпечення для роботи з інтерфейсом.

Недоліки RS-232 полягають в тому, що він реалізує зв'язок типу «точка-точка» з низькою, за сучасними технологіями, швидкістю (зазвичай 9600 біт/с), і працює тільки на невеликих відстанях.

Для перетворення послідовних даних в паралельні та навпаки, пристрої, які підключаються до RS-232, потребують модуль універсального асинхронного прийомопередавача UART. Цей модуль працює, як правило, з сигналами TTL-рівнів. Для перетворення цих сигналів в рівні інтерфейсу RS-232 і навпаки використовуються передавачі та приймачі.

Функціональна схема проектованої системи автоматичного позиціонування сонячних панелей показана в додатку IA51.050БАК.005 Э2.

2.4 Вибір елементної бази

2.4.1 Мікроконтролер

На сьогоднішній день технологічний процес не стоїть на місці, з кожним роком з'являються все складніші пристрої. Виробники мікроконтролерів не відстають від цього процесу, випускаючи на ринок все кращі мікроконтролери, проте ціни на них не зростають. Останнім часом набирають популярності ARM мікроконтролери, а з приходом бюджетних контролерів з ядром Cortex-M ціна стала дуже доступною, вони навіть можуть скласти конкуренцію з 8 і 16 бітними контролерами, такими як AVR, PIC, а в деяких випадках будуть дешевші своїх восьмибітних побратимів. Попри це для ARM мікроконтролерів доступно

багато засобів налагодження та програмування, ціни на які цілком доступні. Порівняння мікроконтролерів наведено в таблиці 2.1.

З даної таблиці видно, що наймолодший ARM мікроконтролер сімейства STM-32 має більші можливості і кращі характеристики при меншій ціні.

Мікроконтролери STM32F100C4T6B (рис. 2.2) по всім параметрам кращий за своїх 8-ми бітних конкурентів, і тому, врахувавши його доступну ціну – це однозначно кращий вибір на ринку. Крім того ARM контролери є 32 розрядними, це означає, що він працює з 32 бітними даними за один такт процесора, що стає неможливим для 8-ми бітних процесорів, адже їм потрібно більше тактів.

Таблиця 2.1 – Порівняльні характеристики популярних МК

Параметр	STM32F100- C4T6B	ATmega48PA- PU	ATtiny13A- SSU
Середня ціна	15 грн.	30 грн.	18 грн.
Об'єм флеш пам'яті (ROM, пам'яті програм)	16 кБайт	4 кБайта	1 кБайт
Об'єм оперативної пам'яті (RAM, пам'яті даних)	4096 Байт	512 Байт	64 Байта
Тактова частота	24 МГц, 30 DMIPS	20 МГц	20 МГц
Ліній вводу/виводу	37	23	6
АЦП	16 каналів, 12 біт	8 каналів, 10 біт	4 канали, 10 біт
ЦАП	12-бітний	0	0
USART	2	1	0
SPI	1	1	1
I2C	1	1	0
Кількість таймерів	5	3	1
DMA	7 каналів	0	0

Ще однією особливістю використання мікроконтролерів STM-32, є сумісність в межах одного корпусу, тобто якщо з будь-яких причин не

вистачає ресурсів закладеного в схему мікроконтролера, можна запаяти на його місце інший мікроконтролер. При цьому зміни в програмі на рівні драйверів і периферії можуть бути лише незначні.



Рисунок 2.2 – Зображення мікроконтролера STM32F100C4T6V

В якості налагоджувальної плати було обрано STM32VLDISCOVERY, зображення якої показано на рисунку 2.3.

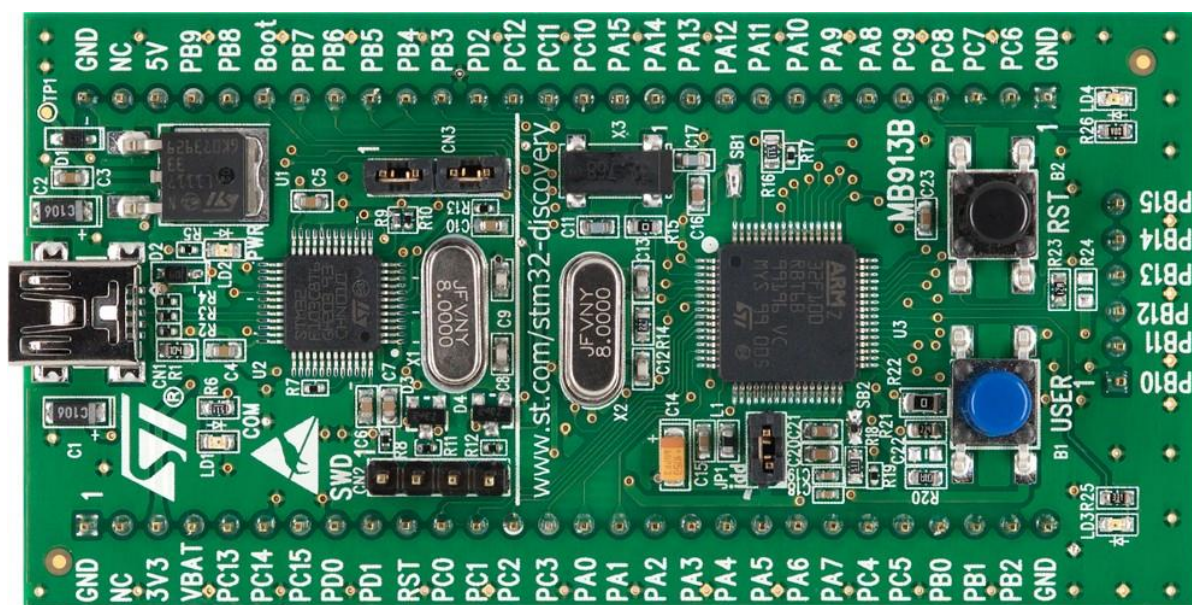


Рисунок 2.3 – Вигляд плати STM32VLDISCOVERY

Плата STM32VLDISCOVERY підтримує I²C на апаратному рівні. Завдяки цьому протоколу можна використовувати піни PB6 і PB7 для підключення пристроїв

Особливості плати STM32VLDISCOVERY:

- вбудований ST-Link з перемикачем режиму вибору для використання комплекту як автономного ST-Link (з роз'ємом SWD для програмування та налагодження);
- вбудовано мікроконтролер STM32F100C4T6B;
- інтерфейси I²C, IrDA, LIN, SPI, UART/USART;
- 8 КБ оперативної пам'яті;
- 32 – бітне ядро Cortex-M3, робоча частота 24 МГц;
- кількість входів/виходів 51;
- периферія DMA, PDR, POR, PVD, PWM, Temp Sensor, WDT;
- призначена для живлення від USB або зовнішнього джерела живлення 5 В або 3,3 В;
- робоча температура -40 ... 85 °С;
- таймер з розширеними функціями;
- 6 таймерів загального призначення;
- 16-канальний 12 бітний АЦП;
- двоканальний 12-розрядний ЦАП [26].

2.4.2 Дисплей LCD

Для виведення текстової інформації різного змісту зручно застосовувати символьні дисплеї, беручи за увагу їх поширеність і простоту використання. В основі більшості таких дисплеїв лежить контролер HD44780, який дозволяє підключатися до дисплея за допомогою 4 або 8 лінійної шини даних і 3-х ліній управління. Контролер HD44780 приймає команди та виводить відповідні символи на РК дисплеї.

З доступних на ринку LCD дисплеїв, я обрав простий дисплей LCD2004 компанії Winstar, який відображає по 20 ASCII символів в 4 рядки. На рисунку 2.4 показано цей дисплей.

№	Лист	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 2.4 – Зображення дисплею LCD2004

Характеристики дисплея LCD2004:

- розміри 98x60x13мм;
- робоча температура -10-50°C;
- зелена під світка та жовтий колір символів;
- розмір точки 0,54x0,54мм;
- формат 20 х 4;
- інтерфейс HD44780;
- видима область 84 х 31мм;
- живлення 5В.

У таблиці 2.2 визначені всі контакти. Якщо взяти дисплей і повернути його до себе, то контакти будуть розташовані зліва направо, відповідно в таблиці йдуть по збільшенню номера. У колонці контакти в дужках вказано позначення в datasheet [27].

На рисунку 2.5 показано порядок всіх контактів та їх назви.

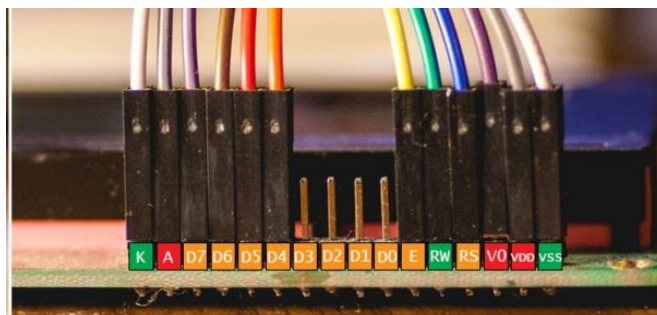


Рисунок 2.5 – Порядок контактів дисплея

Таблиця 2.2 – Назви контактів дисплею та їх призначення

№	Контакти	Опис використання	Замітки
1	VSS (VSS)	GND. Земля. Живлення мікроконтролером дисплею	0V
2	VDD (VCC)	Напруга живлення для мікроконтролера дисплею	+5V
3	V0 (VEE)	Контраст символів на дисплеї. Підключати краще через потенціометр	від 0v до +5V
4	RS (RS)	Вибір регістру.	
5	RW (R/W)	Перемикання режимів читання/запису	0-читання +5V-запис
6	E	Тактування	
7	D0 (DB0)	Передача даних	Дані
8	D1 (DB1)	Передача даних	Дані
9	D2 (DB2)	Передача даних	Дані
10	D3 (DB3)	Передача даних	Дані
11	D4 (DB4)	Передача даних	Дані
12	D5 (DB5)	Передача даних	Дані
13	D6 (DB6)	Передача даних	Дані
14	D7 (DB7)	Передача даних	Дані
15	A (LED+)	+5V Напруга, підсвітка дисплею, через потенціометр можна регулювати яскравість дисплею	+5V
16	K (LED-)	GND Земля, підсвітка дисплею	0V

2.4.3 Схема перетворювача інтерфейсу

Для керування і внесення початкових параметрів в пам'ять програми мікроконтролера використаємо перетворювач USB to UART на базі CP2102 (рис. 2.6), який дозволяє підключати різні пристрої та плати до комп'ютера або ноутбука, у яких немає COM порту. Він емулює віртуальний COM порт, який в роботі нічим не відрізняється від реального порту. Особливостями його є низька ціна і широке розповсюдження.

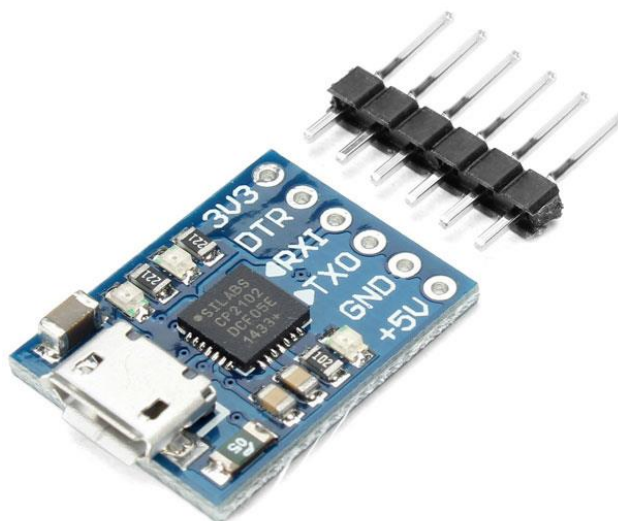


Рисунок 2.6 – Зображення перетворювача на базі мікросхеми CP2102

Характеристики перетворювача:

- робоча напруга від 4 В до 5,25 В;
- на базі мікросхеми CP2102;
- підтримка ОС: Windows XP, Vista, Windows 7, Mac OS, Linux;
- швидкість передачі даних: 300 – 1Mbps;
- 3 індикатори стану роботи;
- вихідна напруга живлення 3,3 і 5 В;
- розміри: 20x3x15;
- маса – 2 грами.

2.4.4 Датчик прискорення і нахилу

Для того, щоб орієнтувати сонячний трекер відносно горизонтальної осі потрібно знати кути його нахилу. Для такої задачі підходить датчик акселерометра, який може також визначати положення в просторі.

Акселерометр - це інструмент, задача якого полягає у вимірюванні проекції повного прискорення тіла, для виміру використовуються три чутливі осі: X, Y і Z [30].

№	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

При виборі датчика прискорення, положення і нахилу враховувалась необхідна для майбутньої системи смуга пропускання. Звичайно аналогові датчики більш чутливі, але вони використовують зовнішній АЦП з подальшою обробкою даних. Цифрові мають достатню для нашого проекту чутливість, невисоку ціну і дуже прості в підключенні. В якості такого датчика був обраний новий цифровий акселерометр LIS2DW12 (рис. 2.7) компанії STMicroelectronics, який потребує мінімум енергії.

LIS2DW12 – це маленький та малопотужний 3-х осьовий акселерометр з високою роздільною здатністю (14 біт) із діапазоном прискорення до ± 16 g, а діапазон вимірювання вибирається із значень: ± 2 g, ± 4 g, ± 8 g і ± 16 g. Підтримуються інтерфейси SPI або I²C у вигляді 16 біт даних.



Рисунок 2.7 – Зображення модуля акселерометра LIS2DW12

Акселерометр представляє собою датчик, який вимірює проекції прискорення на три просторові осі. Враховуючи величину прискорення вільного падіння (g) та дані отриманні по трьох осях, визначається орієнтація акселерометра в просторі.

LIS2DW12 відноситься до класу ємнісних акселераторів та володіє дуже низькою смугою пропускання (0,016...1,6 кГц). Він ідеально підходить для вимірювання низькочастотних вібрацій і кута відхилення [28].

Особливості модуля LIS2DW12:

- напруга живлення 1,62 ... 3,6 В;
- мінімальний рівень споживання енергії: 0,05 мкА в режимі очікування, 0,38 мкА в режимі зниженого споживання, 120 мкА при максимальному режимі роботи;
- інтерфейси SPI і I²C;
- визначення вільного падіння;
- можливість вибору роздільної здатності в широкому діапазоні;
- діапазон вимірювання, так як і смуга пропускання, вибирається подачею певної команди;
- рекордно низький рівень шуму 90 мкг/√Гц;
- мінімальна температурна залежність зміщення 0,2mg/°C;
- робоча температура від -40 °C до +80 °C;
- висока ударостійкість до 10000g;

LIS2DW12 випускається в дуже компактному корпусі LGA-12, зображеному на рисунку 2.8.

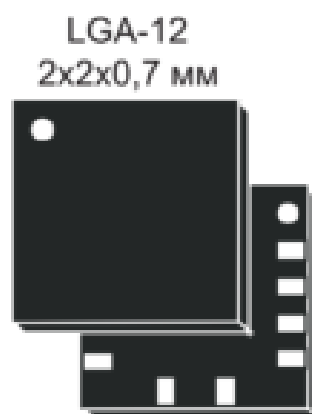


Рисунок 2.8 – Зображення корпусу LGA-12 з його розмірами

2.4.5 Модуль годинника реального часу

Так як годинник реального часу буде експлуатуватись в різних температурних умовах, в тому числі і досить високих температур, то було

№	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

обрано DS3231, за рахунок впровадження в нього термокомпенсуючого кварцового резонатора, який підтримує температурну стабільність частоти.

DS3231 – це модуль високоточного годинника реального часу (real-time clock, RTC) в який вбудовано I2C інтерфейс і кварцовий резонатор. Годинник має вхід для підключення резервного автономного джерела живлення, що дозволяє вимірювати температуру і забезпечувати стабільну роботу при відсутності основного джерела живлення. Зображення даного модуля представлено на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Зображення годинника реального часу DS3231

Пристрій включає в себе акумуляторний вхід і підтримує його точний хронометраж, коли основна потужність пристрою переривається. Інтеграція кристала резонатора підвищує довгострокову точність пристрою та зменшує кількість деталей у виробничій лінії. DS3231 доступний у комерційному та промисловому виробництві.

DS3231 підтримує формат інформації про секунди, хвилини, години, день, дату, місяць і рік. Дата наприкінці місяця автоматично коригується

на місяці з меншим, ніж 31 день, включаючи виправлення для високосного року. Адреса і дані передаються послідовно через двонаправлену шину I²C.

Точна температура компенсації напруги та компараторний монітор контролює стан VCC для виявлення відмов потужності, щоб забезпечити скидання вихідного сигналу, і автоматично перейти до резервного джерела живлення, коли це необхідно.

Основні можливості DS3231:

- висока точність з термокомпенсацією і корекцією ходу;
- точність ± 2 ppm в діапазоні температур від -40 °C до $+85$ °C;
- точність ± 3 °C цифрового виходу датчика температури;
- два будильники часу;
- корекція точності ходу;
- режим швидкої роботи інтерфейсу I²C (400 кГц);
- робоча напруга живлення від 2,3 В до 5,5 В;
- Діапазон робочих температур: комерційний (від 0 °C до $+70$ °C), промисловий (від -40 °C до $+85$ °C);
- габаритні розміри: 38x22x14 мм;
- вага модуля годинника – 8 г.

2.4.6 Магнітний компас

Для того, щоб визначити положення трекера щодо вертикальної осі потрібно використати модуль трьохосьового магнітометру GY-271 на мікросхемі HMC5883L. Він досить поширений та володіє достатньою точністю для даного проекту, має інтерфейс підключення I²C. на платі встановлено параметричний стабілізатор на 3,3 В. Зовнішній вигляд даного модуля показано на рисунку 2.10.

При повороті трьохосьового магнітометра в магнітному полі Землі показання на його трьох осях змінюються. Використовуючи ці дані можна визначити напрямок по сторонах світу. Знаючи показання з осей X, Y

№	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

IA51.050БАК.005 ПЗ

Аркуш

50

можливо обчислити кут, який і буде кутом відхилення від напрямку на північ. В такому режимі модуль виконує роль компаса.

Для цієї задачі можна було б використати гіроскоп, але у гіроскопа є дрейф і він не може точно показати напрямок по сторонах світу.

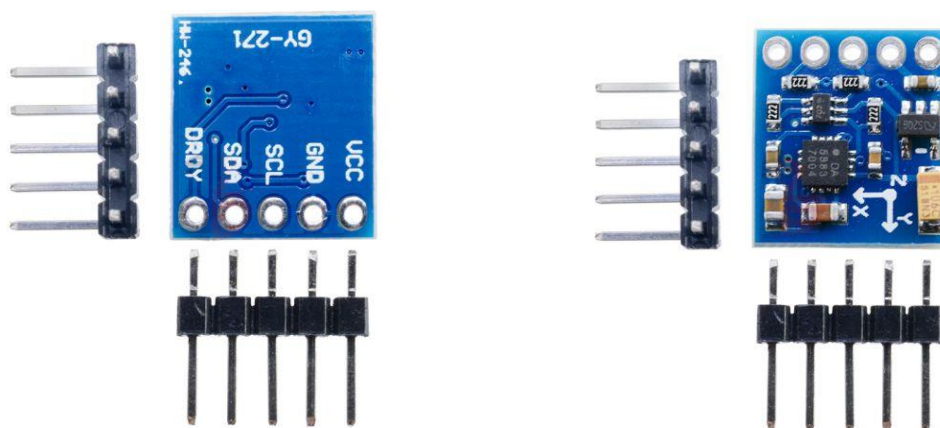


Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд модуля магнітометра GY-271

Основні характеристики GY-271:

- напруга живлення 3,3 В... 5 В;
- розрядність перетворення: 12 біт;
- автоматичне калібрування;
- підтримка інтерфейсу I²C;
- діапазон вимірювань: ± 8 Гаусс;
- точність вимірювання: ± 2 мГаусс;
- споживання струму: в режимі вимірювання – 2,5 мА, в режимі сну – 0,1 мА;
- розмір: 14x13 мм.

2.4.6 Виконавчий механізм повороту панелей

Для того, щоб виконувати позиціонування панелей треба вибрати такий пристрій, який би перетворював електричні сигнали на механічний

рух. Для цієї задачі чудово підходять актуатори на базі двигунів постійного струму з редукторами. Вони мають достатню потужність для переміщені трека та можливість блокування актуатора при сильному вітрі.

Існують різні види актуаторів, які в свою чергу, мають підвиди. Їх конструкція і принцип дії відрізняються один від одного. В залежності від виду енергії, що використовується для створення пересувного руху, виконавчі механізми діляться на: пневматичні, гідравлічні та електричні [30]. Багато з них мають в комплекті електричний двигун, шестерні і спеціальний вал, через який передається обертальний рух іншим компонентам.

Для даного проекту підходять електричні актуатори лінійного типу, в яких є властивість блокування передавального валу, що є великою перевагою. Також сучасні моделі мають збільшену кількість зубців на шестернях, що значно збільшує міцність приводу, точність позиціонування панелей та плавність обертання.

В нашому випадку, так як ми будемо рухати сонячні панелі по двох осях, необхідно використати два подібних актуатора. Для даного проекту підійде модель LAC1500 (рис. 2.11).

Технічні характеристики актуатора LAC1500:

- регульований хід;
- привід Acme (гвинтовий), що самоблокується;
- захист від води і пилу;
- високі точність та антикорозійні якості;
- струм без навантаження $\leq 1\text{A}$;
- струм навантаження $\leq 2\text{A}$;
- статичне навантаження: 5500Н;
- динамічне навантаження: 3500Н;
- вантажопідйомність: 2500Н;

- швидкість (з навантаженням) 5 мм/с;
- робоча температура від -15 °С до +40 °С.



Рисунок 2.11 – Зображення актуатора LAC1500

Після того, як було вибрано актуатори, потрібно їх підключити до мікроконтролера. Проте на пряму на виходи мікроконтролера такі двигуни не підключаються, тому що є обмеження по силі струму на виходах мікроконтролера.

Для вирішення цієї проблеми є декілька способів:

1. Використати силовий транзистор. Але ми зможемо лише керувати швидкістю руху валу, а в нашому випадку потрібно змінювати і напрям.

2. Використати реле, яке буде таким собі перехідним елементом між МК і двигуном. Воно по команді мікроконтролера буде замикати чи розмикати контакти, тобто керувати подачею струму на двигун. Основним недоліком такого способу є те, що ми не зможемо керувати швидкістю та напрямком обертання валу двигуна.

3. Використати плату розширення для МК (Motor Shield), яка забезпечує роботу двигунів постійного струму.

Третій спосіб підходить для нашої цілі. На ринку є досить популярний плата керування двигунами RKP-01A на базі мікросхеми L298N (рис. 2.12).

Дана плата завдяки мікросхемі L298N може керувати відразу двома двигунами постійного струму, що живляться від 5 В до 35 В. Встановлений на основну мікросхему радіатор охолодження дозволяє витримувати струм навантаження до 2А на канал [31].

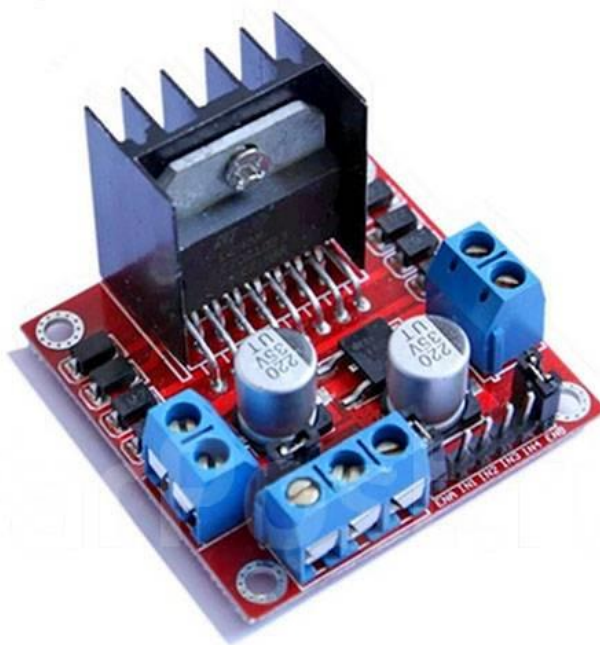


Рисунок 2.12 – Зображення модуля керування двигунами RKP-01A

Характеристика драйвера двигунів RKP-01A на мікросхемі L298N:

- можливість живлення зовнішньої логіки (V_{ss}): +5 В - +7 В;
- вхідна напруга логічної частини (V_d): від 6V до 12V;
- струм навантаження кожної керованої частини (I_o): 2A;
- максимальна споживана потужність: 20 Вт;
- робочий струм зовнішньої логічної частини (I_{ss}): 0 ~ 36mA;
- піковий струм навантаження кожної керованої частини (I_o): 3A;

- високий рівень вхідного сигналу (High): $2.3V = V_{in} = V_{ss}$;
- низький рівень вхідного сигналу (Low): $-0.3V = V_{in} = 1.5V$;
- розміри модуля з радіатором L298: 53 x 47 x 27 мм;
- робоча температура навколишнього середовища: від $-25^{\circ}C$ до $+130^{\circ}C$;
- вага драйвера моторів RKP-01A: 35 грам.

2.5 Розробка схеми електричної принципової

Схема електрична принципова показано в додатку IA51.005БАК.005 ЭЗ. Виходячи з схеми, можна побачити, що до МК підключено дві кнопки. Перша кнопка замикає вхід МК на землю, що призводить до скидання програми. Друга кнопка, що підключена до виводу PA0, при її натисканні виконується замикання на плюс живлення входу МК, тобто на МК подається логічна одиниця.

Вивід МК BOOT0, через резистор R17 і перемикач S1 підключений до землі, тобто стає неможливе завантаження вбудованого завантажувача. Для того, щоб дозволити завантаження, необхідно замкнути вивід BOOT0 на $+3,3V$.

З схеми видно, що вивід BLA – плюс живлення підсвітки підключається до джерела $+5V$, BC – мінус живлення підсвітки – на землю. Використовується чотирьох бітний режим передачі даних, виводи дисплея D5, D6, D7, D8, підключаються до виводів PC0, PC1, PC2, PC3 відповідно.

Зі схеми видно, що з порту USB виходять лінії VDD, D-, D+, GND. D- і D+ (лінії передачі даних) надходять на 4 і 5 ноги мікросхеми. Живлення $+5V$ на мікросхему приходить через фільтруючі конденсатори C3 і C4, R8 – перемичка, VDD порту USB підключається до 8 ноги мікросхеми VBUS і Regin, GND – на 3 ногу мікросхеми.

Модуля DS3231 живиться напругою $+3,3V$, яка фільтрується конденсатором C11. Виводи SCL та SDA підключаються до PB6 і PB7

№	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

мікроконтролера. На виводи Vbat та GND підведено резервне джерело енергії.

Магнітометр підключений до входів PB6 і PB7 мікроконтролера через SDA та SCL.

Між землею GND і піном C1 датчика необхідно передбачити конденсатор C2. Причому ці два конденсатори повинні мати високий ESR і знаходитись в керамічному корпусі. Між входами магнітометра SETP і SETC мікросхеми встановлюється конденсатор C1.

На схемі видно, що мікросхема керування двигуном живиться напругою +5В, що подається на входи VSS, EN A, EN B. На виходи IN1, IN2, IN3, IN4 драйвера, що керують напрямком обертання двигунів, надходять управляючі сигнали від пінів PA0, PA1, PA2, PA3 мікроконтролера. Для живлення обох двигунів використовується живляча напруга +12В. Діоди D1-D4, D5-D8 встановлюються для захисту мікросхеми від зворотного струму. Встановлення даних компонентів обов'язкове.

№	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ВИСНОВКИ

У цьому дипломному проекті досліджувалася атоматизована система позиціонування сонячних панелей задля отримання більше сонячної енергії. Було розглянуто різні види так званих сонячних трекерів та графічно показано приріст видобутку енергії при використанні систем, що змінюють кут нахилу сонячних панелей. Найкращі показники отриманно при використанні систем, які рухають панелі у двох напрямках, із Сходу на Захід та з Півдня на Північ. Виходячи з цього було розроблено власну систему позиціонування сонячними панелями у двох напрямках на базі мікроконтролера STM32VLDISCOVERY, наведено алгоритм роботи, структурну, функціональну та електричну приципову схеми.

Дана система має високі експлуатаційні якості та дає приріст у видобутку сонячної енергії приблизно на 35% у порівнянні з статичним розташуванням панелей.

№	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

IA51.050БАК.005 ПЗ

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Українська сонячна енергетика: як не повторити долю Ікара [Електронний ресурс] – Доступ: <https://www.epravda.com.ua/rus/publications/2019/02/15/645301/>
2. В. Коваль. Енергетисна ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / Р. Івасечко, К. Козак // Энергосбережения. – 2015. – випуск 134.
3. H.Mousazadeh. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output / A. Keyhani, A. Javadi, H. Mobli, K. Abrinia// Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. – pp.1800–1806.
4. S. Mansour. Optimum Design Of On Grid Pv System Using Tracking System / D.W.R.Anis, D.I.M. Hafez // Sci. Technol. Res. – 2015. – №05. – pp. 50–57.
5. T. Twisha. Introducing Dual Axis Solar Tracker with Reflector to Increase Optimal Electricity Generation in Bangladesh // Dev. Renew. Energy Technol. – 2014. – № 3. – pp.1–6.
6. Cooke D. Single vs. Dual Axis Solar Tracking // Altern. Energy e Magazine – 2011.
7. Одноосные трекары [Електронний ресурс]. Доступ: <http://ussolar.com.ua/ua/news/6-odnoosnye-trekery-povyshayut-effektivnost-solnechnoy-stantsii-na-15-17>
8. I.Kamrul. Performance Comparison Between Fixed Panel, Single-axis and Dual-axis Sun Tracking Solar Panel System / P. Shams // Department of Electrical and Electronic Engineering. BRAC University. – 2017 – pp. 6–10.
9. Tip-tilt dual axis tracker. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://chinagreenpowertech.company.weiku.com/item/Tip-tilt-dual-axis-tracker-TTDAT-2-axis-Solar-tracking-system-17945436.html>

10. G.Ananth. Design of Azimuth Altitude Dual Axis Tracker / Dr. M.Gopi Chand Naik // International Research Journal of Engineering and Technology. – 2016 – №8 – pp. 311-316.

11. Photovoltaic Geographical Information System. Interactive Maps. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

12. Солнечные трекары. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://ust.su/solar/media/section-inner79/3032/>

13. J. Shi. Forecasting Power Output of Photovoltaic Systems Based on Weather Classification and Support Vector Machines / W.J. Lee, Y. Liu, Y. Yang, W. Peng // IEEE Transactions on Industry Applications – 2012 – vol. 48 – pp. 1064–1069.

14. C. Sungur. Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey // Renewable Energy – 2009 – vol. 34 – pp. 1119- 1125.

15. A. Al-Mohamad. Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a Sun-tracking system //Applied Energy – 2004 – vol. 79 – pp. 345-354.

16. Солнечный трекер, система слежения за солнцем. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://greenchip.com.ua/26-0-0-.html>

17. A collection of resources for the photovoltaic educator. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.pveducation.org>

18. Z.Hafez. Comparative evaluation of optimal energy efficiency designs for solar tracking systems / H.Shazly, B.Eteiba // Proc. of the Third Intl. Conf. on Advances Science and Environmental Engineering – 2015 – pp.134–141.

19. Solar tracker. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://cdselectronics.com/Kits/SolarTracker.htm>

20. Tracing the Sun: Dual Axis Solar Tracker System. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://electronicsforu.com/electronics-projects/hardware-diy/dual-axis-solar-tracker-system/2>

21. Принцип работы магнитометра. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://novotest.ua/stati/kak-rabotaet-magnitometr.html>

22. Inter-Integrated Circuit. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://electrosome.com/i2c/#Disadvantages>

23. Advantages and disadvantages of I2C. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-I2C.html>

24. Интерфейс RS 232 – стандарт для стыковки оборудования. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://telesys.by/rs-232/>

25. RS-232C. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/RS-232C>

26. STM32VLDISCOVERY user manual. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://prochip.com.ua/image/data/Products/Semiconductors/IC/microcontrollers/evaluation-boards/data/stm32f100-user-manual.pdf>

27. Arduino и символьный LCD-дисплей. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://compblog.vlukyanov.com/?p=570>

28. В.Гавриков. LIS2DW12: новый акселерометр с ультранизким энергопотреблением // Новости электроники – 2017 - №3 – статья 4.

29. DS3231 arduino подключение — часы реального времени. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://usilitelstabo.ru/ds3231-arduino-podklyuchenie.html>

30. Исполнительный механизм. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://kipiavp.ru/pribori/ispolnitelnyy-mehanizm.html>

31. Драйвер Моторов Двухканальный L298N. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://delvik.ru/raznoe/l298n-datasheet-na-russkom-drajver-motorov-dvuxkanalnyj-l298n-dual-dc-motor-driver-rkp-mdl298-01a-v2-drajvery-dvigatalej.html>

№	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

IA51.050БАК.005 ПЗ

Аркуш

61